

18+

vek21.penzgtu.ru

ISSN 2221-951X

XXI век : ИТОГИ ПРОШЛОГО И ПРОБЛЕМЫ НАСТОЯЩЕГО

ПЛЮС



2022
№ 1(57)Т. 11



технические науки



XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Учредитель – ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»

Главный редактор

Шеуджен Асхад Хазретович, академик Российской академии наук,
доктор биологических наук, профессор

Заместители главного редактора:

Авроров Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент
Ефремова Сания Юнусовна, доктор биологических наук, профессор
Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент
Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор
Политаева Наталья Анатольевна, доктор технических наук, профессор
Чулков Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор
Андреев Юрий Александрович, доктор технических наук
Антипов Сергей Тихонович, доктор технических наук, профессор
Базарнова Юлия Генриховна, доктор технических наук, профессор
Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор
Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор
Васенев Иван Иванович, доктор биологических наук, профессор
Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор
Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор
Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор
Давыденко Наталия Ивановна, доктор технических наук, доцент
Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент
Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент
Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор
Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор
Мамедова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор
Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор
Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор
Михеев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор
Первухина Елена Львовна, доктор технических наук, профессор
Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор
Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор
Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор
Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук,
доктор химических наук, профессор
Таранцева Клара Рустемовна, доктор технических наук, профессор
Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор
Фатыхов Юрий Адгамович, доктор технических наук, профессор
Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент
Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент
Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент

Ответственный секретарь

Коростелева Анна Владимировна, кандидат технических наук

© ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», 2022

Основан в 2011 г.

18+

Том 11
№ 1 (57)
2022

Журнал выходит
4 раза в год

Входит в ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Пензенской области ПИ № ТУ 58 – 00243 от 27 апреля 2015 года.

Компьютерная верстка:
В.В. Зупарова

Технический редактор:
В.В. Зупарова

Адрес редколлегии, учредителя,
редакции и издателя
ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный технологический
университет»:
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, д. 1а/11
Тел.: 8(8412) 20-86-39;
E-mail: journal21@penzgtu.ru;
Сайт: <https://vek21.penzgtu.ru>

Подписано в печать 11.03.2022.
Выход в свет 22.03.2022.
Формат 60X84 1/8
Печать ризография.
Усл. печ. л. 23,2.
Тираж 100 экз. Заказ № 182.

Отпечатано в ПензГТУ,
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/
ул. Гагарина, д. 1а/11, тел.: 8(8412) 20-86-39
Цена свободная

СВЕДЕНИЯ О ЧЛЕНАХ РЕДКОЛЛЕГИИ

Главный редактор

Шеуджен Асхад Хазретович, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии
(Кубанский государственный аграрный университет)

Заместители главного редактора:

Авроров Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Пищевые производства»

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Ефремова Сания Юнусовна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры «Биотехнология и техносферная безопасность»

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Мотовилов Олег Константинович, доктор технических наук, доцент, руководитель

(Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск, Россия)

Пашенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор, ректор

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Политаева Наталья Анатольевна, доктор технических наук, профессор,

профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)

Чулков Валерий Александрович, доктор технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия»

(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Редакционная коллегия:

Акинин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

(Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

Андреев Юрий Александрович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Пожарная безопасность» (Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия)

Антипов Сергей Тихонович, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»

(Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия)

Базарнова Юлия Генриховна, доктор технических наук, профессор,

директор Высшей школы биотехнологии и пищевых технологий

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия)

Богданов Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» (Южно-Уральский государственный университет

(национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия)

Бурахта Вера Алексеевна, доктор химических наук, профессор, проректор по научной работе

(Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Республика Казахстан)

Васенев Иван Иванович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология»

(РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия)

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой «Химическая технология и промышленная экология»

(Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия)

Голуб Ольга Валентиновна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела научных

направлений исследований комплексной переработки сельскохозяйственного сырья СибНИТИП

(Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,

п. Краснообск, Новосибирская обл., Россия)

Громов Юрий Юрьевич, доктор технических наук, профессор,

директор института автоматизации и информационных технологий

(Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия)

Давыденко Наталия Ивановна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология и организация

общественного питания», начальник отдела подготовки научных кадров

(Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия)

Дмитриев Михаил Сергеевич, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры автомобильного транспорта, информационных технологий и методики обучения техническим дисциплинам

(Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет)

Зинкин Сергей Александрович, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры «Вычислительная техника»

(Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия)

Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор,
проректор по учебной работе, заведующий кафедрой «Высшая и прикладная математика»
(Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия)

Косников Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Информационно-вычислительные системы»
(Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия)

Кручинина Наталия Евгеньевна, доктор технических наук, профессор,
декан факультета биотехнологии и промышленной экологии, заведующий кафедрой «Промышленная экология»
(Российский государственный химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

Маммадова Тарана Аслан кызы, доктор технических наук, профессор, заместитель директора
(Институт Нефтехимических процессов НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджан)

Маскевич Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, директор
(Международный государственный экологический институт им.А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, г.Минск, Республика Беларусь)

Махмудова Любовь Ширваниевна, доктор технических наук, профессор, директор
(Институт нефти и газа, Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г.Грозный, Чеченская Республика)

Михеев Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационные технологии и системы»
(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Петрова Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и моделирования»
(Астраханский инженерно-строительный институт, г. Астрахань, Россия)

Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии»
(Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева, г. Самара, Россия)

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательского центра Академия гражданской защиты
(Академия гражданской защиты МЧС России, г. Москва, Россия)

Стороженко Павел Аркадьевич, член-корреспондент Российской академии наук, доктор химических наук,
профессор, управляющий директор ГНЦ РФ «Государственный ордена Трудового Красного Знамени НИИ химии и технологии элементоорганических соединений», профессор кафедры химии и технологии элементоорганических соединений
(Московский институт тонкой химической технологии имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия)

Таранцева Клара Рустемовна, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Биотехнология и техносферная безопасность»
(Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия)

Тихомирова Елена Ивановна, доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Экология и техносферная безопасность»
(Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, г. Саратов, Россия)

Фатыхов Юрий Адгамович, доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Пищевых и холодильных машин»
(Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия)

Шалагин Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Компьютерные системы»
(Казанский Национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, г. Казань, Россия)

Ципенко Антон Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Физика»
(Московский авиационный институт, г. Москва, Россия)

Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии
(Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЯ ИМИТАТОРА ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЁРА Козлов Андрей Юрьевич, Чиркина Марина Александровна, Кувшинова Ольга Александровна, Есимова Нурзипа Сапаровна.....	10
АНАЛИЗ ПОЛЯРНОСТИ НАСТРОЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ПЕРИОД COVID-19 Зоткина Алена Александровна, Мартышкин Алексей Иванович.....	15
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ CO₂ И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДВС Зеленков Геннадий Анатольевич, Данцевич Игорь Михайлович, Мышкина Алена Николаевна.....	19
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВИД СВЕДЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Коновалов Владимир Викторович, Колобова Екатерина Александровна, Фомина Мария Владимировна.....	23
ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕРНЕТ-ЦЕНТРА ВУЗА Мартышкин Алексей Иванович.....	28
ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА УНИВЕРСИТЕТА: МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ГИБРИДНОГО ОБУЧЕНИЯ Амбросенко Николай Дмитриевич, Ковалев Игорь Владимирович, Скуратова Ольга Николаевна.....	34
К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЭС Данилова Евгения Анатольевна, Таньков Георгий Васильевич, Юрков Николай Кондратьевич.....	39
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОДСИСТЕМЫ ОЧЕРЕДЕЙ СООБЩЕНИЙ В РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ Мартышкин Алексей Иванович, Синев Михаил Петрович, Шеянов Николай Николаевич, Нешко Дарья Олеговна, Никишин Кирилл Игоревич.....	43
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ	
САПОНИНЫ В КОРНЯХ <i>CODONOPSIS JAVANICA (BLUME) HOOK.F. & THOMSON</i>, ВЫРАЩЕННОГО В РАЗНЫХ РАЙОНАХ ВЬЕТНАМА И АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ Табакаева Оксана Вацлавовна, Буй Зань Чунг.....	49
ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЗАВТРАКА Устинова Юлия Владиславовна, Шевченко Татьяна Викторовна, Попов Анатолий Михайлович, Узунов Глеб Борисович.....	53
ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА КОНДИТЕРСКОЙ ГЛАЗУРИ С МЕЛАНИНОМ ИЗ ГРЕЧНЕВОЙ ЛУЗГИ Кадрицкая Елена Александровна, Школьникова Марина Николаевна, Кокорева Лариса Анатольевна, Ялунина Екатерина Николаевна, Рожнов Евгений Дмитриевич.....	58

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ СЫРЬЯ ПРИ КОНСЕРВИРОВАНИИ ОГУРЦОВ

Белокурова Елена Сергеевна,
Панкина Илона Анатольевна, Севастьянова Анна Дмитриевна.....64

К ВОПРОСУ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОДУКТАМИ ПЕРЕРАБОТКИ ТОПИНАМБУРА И КАЛЬЦИЕМ

Бочкарева Зенфира Альбертовна, Пчелинцева Ольга Николаевна,
Сагандыкова Сабина Кудайбергеновна, Трифонова Кира Александровна.....69

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА БЫСТРОРАСТВОРИМЫХ ЗАВТРАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО КРАХМАЛА

Устинова Юлия Владиславовна, Шевченко Татьяна Викторовна,
Попов Анатолий Михайлович, Узунов Глеб Борисович.....74

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

ПРОБЛЕМЫ ПОДБОРА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ И ЭЛЕКТРОПРОВОДОК СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

Стрельников Сергей Владимирович, Варламкин Андрей Александрович,
Бочарников Михаил Александрович, Дармина Наталья Михайловна.....78

УПРАВЛЕНИЕ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ И УНИЧТОЖЕНИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Авдониная Любовь Александровна,
Вершинин Николай Николаевич, Заонегин Антон Александрович.....82

О МЕТОДИКЕ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ОБЪЕМА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ СВЯЗАННЫХ С НАРУШЕНИЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Рыбаков Анатолий Валерьевич, Геккель Иван Яковлевич,
Кодзоев Абдул-Азит Исламович, Поляков Александр Юрьевич.....86

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПРОХОДЧИКА УЧАСТКА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Муллер Нина Васильевна, Младова Татьяна Александровна.....91

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

Ведерникова Анастасия Юрьевна, Нарусова Елена Юрьевна,
Стручалин Владимир Гайозович, Ковусов Азим Байрамович.....96

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК ПО ЕГО МИКРОСТРУКТУРЕ

Мокряк Андрей Юрьевич,
Мокряк Анна Васильевна, Букаткин Алексей Сергеевич.....100

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РИСКОВ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАРУШЕНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Авдониная Любовь Александровна, Вершинин Николай Николаевич.....104

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАТОГЕННОСТИ МИКРОБА КАК НЕГАТИВНОГО ФАКТОРА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА КОСВЕННЫХ НАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ

Земскова Анастасия Романовна, Липина Татьяна Олеговна, Кузьмин Антон Алексеевич.....109

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Новоселова Елена Александровна.....114

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ Михайлова Валерия Игоревна.....	119
ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЗАНЯТИЙ В ЛАБОРАТОРИЯХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ Манаева Алина Рамзиловна.....	123
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ С ВЗРЫВООПАСНЫМИ ИЗДЕЛИЯМИ ОБСЛУЖИВАЮЩИМ ПЕРСОНАЛОМ Вершинин Николай Николаевич, Авдониная Любовь Александровна.....	127
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ УЛУЧШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ Нарусова Елена Юрьевна, Степанов Андрей Николаевич, Стручалин Владимир Гайозович, Лебедева Анастасия Сергеевна.....	133
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОМЕДНЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕРМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА Парийская Анна Юрьевна, Мокряк Анна Васильевна.....	137
АДАПТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА Кузнецов Евгений Владимирович, Хаджиди Анна Евгеньевна, Моторная Лариса Васильевна, Тратникова Анастасия Алексеевна.....	141
ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ: ФАКТОРЫ ПЕРЕНОСА И ОЦЕНКИ ДОЗЫ Юданов Петр Максимович.....	146
ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА КАНАЛОВ В ОТРАЖАТЕЛЬНОМ ГЛУШИТЕЛЕ НА ЕГО АКУСТИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ Плищына Ольга Витальевна.....	150
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОСЫЛОК КОРРУПЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ НАДЗОРНЫХ ОРГАНОВ И БИЗНЕСА В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Раскошный Илья Антонович, Фоминых Анна Олеговна, Просин Максим Валерьевич, Турова Наталья Николаевна.....	154
ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ В ЗДАНИЯХ И ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ Несина Анастасия Сергеевна, Якушева Алёна Андреевна, Стабровская Елена Игоревна, Васильченко Наталья Викторовна.....	159
РОЛЬ НАНОМОДИФИКАТОРОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСТРОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ Панфилова Марина Ивановна, Леонова Данута Амброжьевна, Горячева Анна Александровна, Полянскова Екатерина Александровна.....	163

CONTENT
INFORMATION SCIENCE, COMPUTING DEVICES AND CONTROLLING

THE STRUCTURE OF THE DATABASE OF THE COMPUTER GENERATOR OF THE IMAGE OF THE SIMULATOR OF THE VISUAL ENVIRONMENT OF THE AVIATION SIMULATOR Kozlov Andrey Yurievich, Chirkina Marina Alexandrovna, Kuvshinova Olga Alexandrovna, Esimova Nurzipa Saparovna.....	10
ANALYSIS OF THE SOCIAL NETWORKS USERS' MOOD POLARITY DURING THE <i>COVID-19</i> PERIOD Zotkina Alena Aleksandrovna, Martyshkin Alexey Ivanovich.....	15
MATHEMATICAL MODEL OF NEUTRALIZATION OF CO_2 AND ICE COMBUSTION PRODUCTS Zelenkov Gennady Anatolyevich, Dantsevich Igor Mikhailovich, Myshkina Alena Nikolaevna.....	19
UNIVERSAL VIEW OF INFORMATION FOR SYSTEMS OF INTERDEPARTMENTAL ELECTRONIC INTERACTION Konovalov Vladimir Viktorovich, Kolobova Ekaterina Alexandrovna, Fomina Maria Vladimirovna.....	23
A VARIANT OF THE IMPLEMENTATION OF COMPUTING CLUSTER OF THE DATA PROCESSING CENTER ON EXAMPLE OF AN INTERNET CENTER OF THE UNIVERSITY Martyshkin Alexey Ivanovich.....	28
DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY: HYBRID LEARNING ORGANIZATION MODEL Ambrosenko Nikolai Dmitrievich, Kovalev Igor Vladimirovich, Skuratova Olga Nikolaevna.....	34
TO THE QUESTION OF CONSTRUCTION OF FINITE-DIFFERENCE MODELS OF PLATE STRUCTURES OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT Danilova Evgenia Anatolievna, Tankov Georgy Vasilievich, Yurkov Nikolai Kondratievich.....	39
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MODELS OF THE MESSAGE QUEUE SUBSYSTEM IN A RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEM Martyshkin Alexey Ivanovich, Sinev Mihail Petrovich, Sheyanov Nikolay Nikolaevich, Neshko Daria Olegovna, Nikishin Kirill Igorevich.....	43

FOOD TECHNOLOGY

STUDY OF CHANGES IN THE AMOUNT OF SAPONINS IN THE ROOTS OF <i>CODONOPSIS JAVANICA (BLUME) HOOK.F. & THOMSON</i> GROWN IN DIFFERENT AREAS OF VIETNAM Tabakaeva Oksana Vatslavovna, Bui Zan Chung.....	49
STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GRANULATED BREAKFAST Ustinova Yulia Vladislavovna, Shevchenko Tat'yana Viktorovna, Popov Anatoly Mikhaylovich, Uzunov Gleb Borisovich.....	53
SUBSTANTIATION OF THE COMPOSITION OF CONFECTIONERY GLAZE WITH MELANIN FROM BUCKWHEAT HUSK Kadritskaya Elena Alexandrovna, Shkolnikova Marina Nikolaevna, Kokoreva Larisa Anatolievna, Yalunina Ekaterina Nikolaevna, Rozhnov Evgeny Dmitrievich.....	58

JUSTIFICATION OF THE USE OF THE DIRECTED FERMENTATION IN THE CONSERVATION THE CUCUMBERS	
Belokurova Elena Sergeevna, Pankina Ilona Anatolyevna, Sevastyanova Anna Dmitriyevna.....	64
ABOUT ENRICHMENT BAKERY PRODUCTS WITH RECYCLED SUNCHOKE AND CALCIUM	
Bochkareva Zenfira Albertovna, Pchelinceva Olga Nikolaevna, Sagandykova Sabina Kydaibergenovna, Trifonova Kira Alexandrovna.....	69
IMPROVING THE QUALITY OF FOOD PRODUCTS USING MODIFIED STARCH	
Ustinova Yulia Vladislavovna, Shevchenko Tat'yana Viktorovna, Popov Anatoly Mikhaylovich, Uzunov Gleb Borisovich.....	74
<i>HUMAN ACTIVITY SAFERY</i>	
PROBLEMS OF SELECTION OF CABLE LINES AND ELECTRICAL WIRING OF FIRE PROTECTION SYSTEMS OF OBJECTS	
Strelnikov Sergey Vladimirovich, Varlamkin Andrey Aleksandrovich, Bocharnikov Mikhail Alexandrovich, Darmina Natalia Mikhailovna.....	78
HEALTH MANAGEMENT DURING THE DISPOSAL AND DESTRUCTION OF EXPLOSIVE PRODUCTS	
Avdonina Lyubov Aleksandrovna, Vershinin Nikolay Nikolaevich, Zaonegin Anton Aleksandrovich.....	82
ON THE METHOD FOR DETERMINING THE RATIONAL VOLUME OF MEASURES TO PROTECT THE POPULATION IN BUILDINGS IN EMERGENCY SITUATIONS ASSOCIATED WITH THE BREAKDOWN OF THE HEAT SUPPLY	
Rybakov Anatoly Valerievich, Gekkel Ivan Yakovlevich, Kodzoev Abdul-Azit Islamovich, Polyakov Alexander Yuryevich.....	86
ASSESSMENT OF THE PROFESSIONAL RISK OF THE SINKER OF THE DRILLING AND BLASTING SITE	
Muller Nina Vasilevna, Mladova Tatiana Aleksandrovna.....	91
ASSESSMENT OF THE RISK OF A DANGEROUS SITUATION WHEN CROSSING RAILWAY TRACKS	
Vedernikova Anastasya Yurievna, Narusova Elena Yurievna, Struchalin Vladimir Gaiozovich, Kovusov Azim Bayramovich.....	96
ASSESSMENT OF THE TEMPERATURE EFFECT ON A COPPER CONDUCTOR IN THE STUDY OF ITS MICROSTRUCTURE	
Mokryak Andrei Yurievich, Mokryak Anna Vasievna, Bukatkin Aleksei Sergeevich.....	100
A MODEL FOR PREDICTING EMERGENCY RISKS CAUSED BY A VIOLATION OF LABOR PROTECTION DURING THE OPERATION OF EXPLOSIVE PRODUCTS	
Avdonina Lyubov Aleksandrovna, Vershinin Nikolay Nikolaevich.....	104
MICROBE'S PATHOGENICITY PREDICTION ON COMPLEX OF INDERECTIVE NATIVE FEATURES	
Zemskova Anastasiya Romanovna, Lipina Tatyana Olegovna, Kuzmin Anton Alekseevich.....	109
INFLUENCE OF VARIABLE POTENTIAL ON THE RESULTS OF QUANTITATIVE DETERMINATION OF MERCURY BY BIOINDICATION IN EMERGENCY SITUATIONS	
Novoselova Elena Alexandrovna.....	114
IMPLEMENTATION OF THERMAL PROTECTION SYSTEMS OF A TANK FARM FOR STORING PETROLEUM PRODUCTS BASED ON MODIFIED HYDROGEL COMPOSITIONS	
Mikhailova Valeria Igorevna.....	119

SAFETY REQUIREMENTS WHEN CONDUCTING CLASSES IN LABORATORIES OF PHYSICO-CHEMICAL PROFILE Manaeva Alina Ramzilevna.....	123
MODELING OF OPTIMAL LABOR PROTECTION MANAGEMENT WHEN WORKING WITH EXPLOSIVE PRODUCTS BY SERVICE PERSONNEL Vershinin Nikolay Nikolaevich, Avdonina Lyubov Aleksandrovna.....	127
INCREASING SAFETY OF WORKERS OF THE TRACK COMPLEX ON THE BASIS OF IMPROVING THE PROTECTIVE PROPERTIES OF SPECIAL CLOTHING Narusova Elena Yurievna, Stepanov Andrei Nikolaevich, Struchalin Vladimir Gaiozovich, Lebedeva Anastasia Sergeevna.....	133
INVESTIGATION OF THE PHASE COMPOSITION OF COPPER-PLATED ALUMINUM CONDUCTORS EXPOSED TO THERMAL EFFECTS BY X-RAY PHASE ANALYSIS Pariyskaya Anna Yuryevna, Mokryak Anna Vasievna.....	137
ADAPTED TECHNOLOGY FOR RESTORATION OF THE KRASNODAR RESERVOIR TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE REGION Kuznetsov Evgeny Vladimirovich, Khadzhidi Anna Evgenevna, Motornaya Larisa Vasilievna, Tratnikova Anastasia Alekseevna.....	141
NATURAL RADIONUCLIDES IN ROOT AND SOIL OF THE RUSSIAN FEDERATION: FACTORS OF TRANSFER AND ASSESSMENT OF DOSE Yudanov Petr Maksimovich.....	146
INFLUENCE OF THE NUMBER OF DUCTS IN THE REFLECTIVE SILENCER ON ITS ACOUSTIC CHARACTERISTIC Plitsyna Olga Vital'evna.....	150
STUDY OF THE PREREQUISITES OF CORRUPTION INTERACTION OF REPRESENTATIVES OF SUPERVISORY BODIES AND BUSINESS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY Raskoshny Ilya Antonovich, Fominykh Anna Olegovna, Turova Natalya Nikolaevna, Prosin Maksim Valerievich.....	154
FIRE SAFETY OF PEOPLE WITH DISABILITIES IN THE BUILDINGS AND INDUSTRIAL OBJECTS Nesina Anastasia Sergeevna, Yakusheva Alena Andreevna, Stabrovskaya Elena Igorevna, Vasilchenko Natalya Viktorovna.....	159
THE ROLE OF NANOMODIFIERS IN ENSURING THE SAFETY OF CONSTRUCTED OBJECTS Panfilova Marina Ivanovna, Leonova Danuta Ambrozhevna, Goryacheva Anna Alexandrovna, Polyanskova Ekaterina Alexandrovna.....	163

УДК 004.946

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0001

СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЯ ИМИТАТОРА ВИЗУАЛЬНОЙ ОБСТАНОВКИ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЁРА

©2022

Козлов Андрей Юрьевич, доктор технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика»

*Пензенский государственный университет
(440039, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: a89162@yandex.ru)*

Чиркина Марина Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Информационно-вычислительные системы»

Кувшинова Ольга Александровна, аспирант кафедры «Информационно-вычислительные системы»

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
(440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, e-mails: chm-77@mail.ru, oly791702@mail.ru)*

Есимова Нурзипа Сапаровна, аспирант кафедры «Информационные системы и технологии»,

*Пензенский государственный технологический университет
(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: nurzipa.esimova@mail.ru)*

Аннотация. Развитие науки и техники создало условия появления обучающих комплексов для профессиональной подготовки машинистов локомотивов, водителей автомобилей, судоводителей, пилотов летательных аппаратов. Из перечисленных обучающих комплексов наиболее развитыми являются авиационные тренажёры, разработанные для обучения лётчиков не только профессиональным навыкам управления летательного аппарата, но и самолётовождению. Решение задач обучения водителей и пилотов предполагает перемещение информационной модели транспортного средства в информационной модели внешней среды. Для формирования визуально наблюдаемой информационной трёхмерной модели внешней среды через стекло кабины тренажёра применяются специальные системы, называемые «Имитатор визуальной обстановки». В их состав входит специализированная программно-техническая система, названная «Компьютерный генератор изображения». Его назначение – синтез с использованием методов машинной графики в режиме реального времени на экране 2D-проекции части информационной модели внешней среды, попавшей в камеру наблюдения. В качестве исходной информации используются видимые и управляющие примитивы, полностью описывающие все 3D-модели объектов, расположенные по всей модели района полётов размером 1500×1500 км. Модель района полётов большая, а видна в каждый момент времени только незначительная её часть. Поэтому на первой стадии обработки базы данных компьютерного генератора изображения проводится отсев, или исключение из процесса синтеза информации, которая в данный момент времени не востребована. Авторами статьи рассмотрены требования к структурам баз данных имитаторов визуальной обстановки. Полученные выводы могут быть использованы и для других имитаторов синтезирующих визуально наблюдаемые модели объектов внешней среды, видимых через имитатор тепловизора или через имитатор радиолокатора.

Ключевые слова: имитаторы авиационного тренажёра, информация для решения навигационных задач, *Big Data*.

THE STRUCTURE OF THE DATABASE OF THE COMPUTER GENERATOR OF THE IMAGE OF THE SIMULATOR OF THE VISUAL ENVIRONMENT OF THE AVIATION SIMULATOR

© 2022

Kozlov Andrey Yurievich, doctor of technical sciences,
associate professor of the department of Automation and Telemechanics

*Penza State University
(440039, Penza, Krasnaya St., 40, e-mail: a89162@yandex.ru)*

Chirkina Marina Alexandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Information Computing Systems

Kuvshinova Olga Alexandrovna, postgraduate student of the department of Information Computing Systems

*Penza State University of Architecture and Construction
(440028, Penza, German Titov St., 28, e-mails: chm-77@mail.ru, oly791702@mail.ru)*

Esimova Nurzipa Saparovna, postgraduate student of the department of Information systems and technologies,

*Penza State Technological University
(440039, Penza, Baidukova passage / Gagarin street, 1a/11, e-mail: nurzipa.esimova@mail.ru)*

Abstract. The development of science and technology has created the conditions for the emergence of training complexes for the professional training of locomotive drivers, car drivers, navigators, and aircraft pilots. Of these training complexes, the most developed are aviation simulators designed to train pilots not only in professional aircraft control skills, but also in aircraft navigation. Solving the problems of training drivers and pilots involves moving the information model of the vehicle in the information model of the external environment. To form a visually observed informational three-dimensional model of the external environment through the glass of the simulator cabin, special systems are

used called the "Visual Environment Simulator". They include a specialized software and hardware system called "Computer Image Generator". Its purpose is a synthesis using computer graphics methods in real time on the screen of a 2D-projection of a part of the information model of the external environment that has fallen into the surveillance camera. As initial information, visible and control primitives are used, which fully describe all 3D-models of objects located throughout the model of the flight area with a size of 1500×1500 km. The model of the flight area is large, and only a small part of it is visible at any given time. Therefore, at the first stage of processing the database of a computer image generator, screening or exclusion from the synthesis process of information that is not in demand at a given time is carried out. The authors of the article considered the requirements for the database structures of visual environment simulators. The findings can also be used for other simulators that synthesize visually observed models of environmental objects visible through a thermal imager simulator or through a radar simulator.

Keywords: aviation simulator simulators, information for solving navigation tasks, *Big Data*.

Введение. Обработка информации в режиме реального времени с извлечением исходных данных из баз данных всегда предполагает использование методов *Big Data* [1]. В частности, такая задача ставится при разработке авиационных тренажёров, позволяющих лётчикам летать над узнаваемой моделью выбранного района полётов размером 1500×1500 км [2]. Современное развитие науки и техники создало условия для синтеза визуально наблюдаемой модели пространства, окружающего подвижные кабины моделей транспортных средств. Это обучающие комплексы для профессиональной подготовки машинистов локомотивов [3], водителей автомобилей [4], судоводителей [5], пилотов летательных аппаратов [6]. Наиболее развитыми являются авиационные тренажёры [7] разработанные для обучения лётчиков не только профессиональным навыкам управления летательного аппарата, но и самолётовождению [8].

Решение задач обучения водителей и пилотов предполагает перемещение модели транспортного средства в модели внешней среды [9]. Для формирования трёхмерного изображения внешней среды наблюдаемой через стекло кабины тренажёра разработаны специальные системы, называемые «Имитатор визуальной обстановки» [10]. В их состав входят компьютерные генераторы изображения, синтезирующие на плоском экране часть модели внешней среды, попавшей в камеру наблюдения.

Синтез в режиме реального времени изображения на экране проводится методами машинной графики [11]. В качестве исходной информации используются видимые и управляющие примитивы. Видимые примитивы используются для синтеза наблюдаемой 3D-модели объекта, а управляющие примитивы используются для решения задач взаимозакрываемости (при подвижном наблюдателе) [12]. Отсев части модели внешней среды происходит, не попавшей в камеру наблюдения [13] или находящейся в зоне видимости расположенных в ней 3D-моделей [14]. Исключение из процесса синтеза информации, которая в данный момент времени не востребована осуществляется методами *Big Data* [15], за счёт использования структурированной базы данных [16] компьютерного генератора изображения [17]. Литературный обзор показал, что использование структурированной базы данных [18] позволяет:

– во-первых, проводить обучение на узнаваемой

модели местности большого размера [19]. Для авиационных тренажёров Заказчик требует обеспечить полёт над моделью района размером 1500×1500 км [20];

– во-вторых, распределять ресурсы компьютерного генератора изображения [21] для получения изображения, насыщенного моделями реперных объектов [22] обеспечивающих возможность решать навигационные задачи по визуальным ориентирам.

Авторами статьи рассмотрены требования к структурам баз данных имитаторов визуальной обстановки авиационных тренажёров как наиболее развитой обучающей системы [23]. Полученные выводы могут быть использованы и для других обучающих систем.

Целью статьи является исследование структур баз данных компьютерного генератора изображения позволяющих решать две противоречивые задачи. Первая задача – обеспечить возможность решения навигационных задач, связанных с визуальной ориентировкой по наблюдаемым 3D-моделям реперных объектов [24], при любой траектории полёта на авиационном тренажёре над моделью узнаваемого района полётов размером 1500×1500 км (что предполагает хранение большого числа исходных данных для синтеза видимых из кабины 3D-моделей реперных объектов, при этом чем больше моделей таких объектов – тем лучше решается задача моделирования узнаваемого района полётов). Вторая задача – обеспечить выполнение режима реального времени (цикл 80 мсек) [24], что предполагает обработку за каждый цикл режима реального времени ограниченного числа 3D-моделей. Решить эти противоречивые задачи предлагается за счёт использования специальной структуры базы данных компьютерного генератора изображения имитатора.

Материалы и результаты исследования. База данных в имитаторе визуальной обстановки обрабатывается программно-технической системой «Компьютерный генератор изображения». За каждый такт режима реального времени последовательно выполняются четыре процесса.

Во время выполнения первого «сценарного процесса» обрабатывается вся база данных с целью отбора той информации, обработка которой позволит синтезировать видимой в данный момент времени часть модели района полётов.

Во время выполнения второго «геометрического

процесса» синтезируется на плоскости, совмещённой с экраном монитора, 2D-проекция примерного вида части района полётов, который должен в данный момент времени видеть лётчик.

Во время выполнения третьего «клипперного процесса» «обрезаются» части моделей 3D-объектов, которые не вмещаются в прямоугольник экрана монитора.

Во время выполнения четвёртого «видео процесса» математическая модель 2D-проекции той части модели района, которая в данный момент времени

должна быть видна, преобразуется в сигналы RGB которые высвечивают на физической плоскости экрана монитора требуемое изображение.

Три последних процесса выполняются по алгоритмам машинной графики и не предполагают увеличения, или уменьшения числа обрабатываемых 3D-моделей.

Первый процесс ориентирован на обработку базы данных, в которой «упакована» вся информация о моделях 3D-объектов модели района полётов, приведённого на рисунке 1.

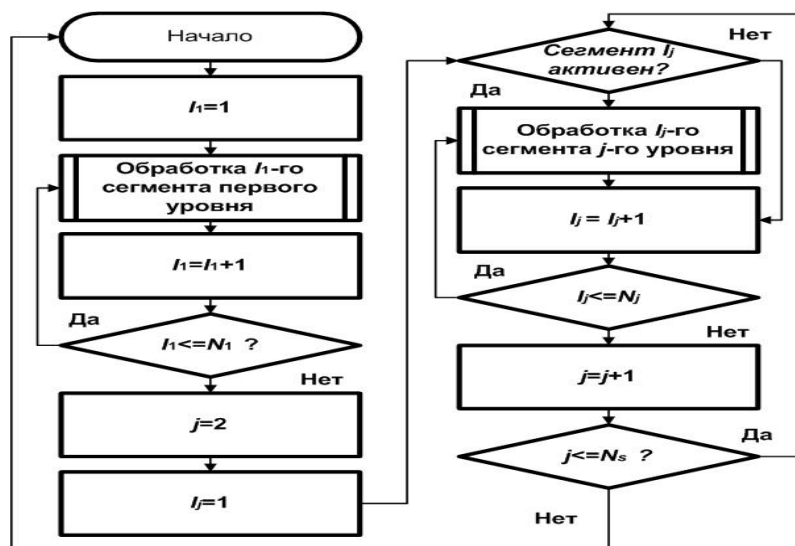


Рисунок 1 – Схема выполнения сценарного процесса, обрабатывающего структурированную базу данных с целью выяснения активных сегментов информации

В настоящее время не существует компьютерных генераторов изображения способных последовательно обработать все примитивы, из которых набраны модели 3D-объектов модели района полётов. В то же время в каждый цикл режима реального времени, определяемого в 80 мсек, необходимо синтезировать изображение ограниченного участка модели района полётов, видимой в данный момент времени из кабины. Для этого вся модель района полётов разбивается на сегменты – модели участков поверхности с 3D-моделями объектов. Каждый S_i сегмент заключён в «охватывающую сферу» – выпуклый многоугольник стороны которого без просветов граничат со сторонами таких же многоугольников. Целью работы сценарного процесса отобразить только те сегменты, которые в данный момент времени должны быть активизированы, другие сегменты должны быть отсеяны. Для этого сегменты в базе данных описаны специальными операторами, позволяющими при первоначальном обходе перебрать все сегменты и отобразить те из них, которые лежат от наблюдателя ближе всего (на заданной дистанции). Вся модель района полётов I_j делится на сегменты первого уровня $I_m = \bigcup_{k=1}^{I_j} I_{k1}$ числом I_j . Каждый сегмент первого уровня $I_{m2} = \bigcup_{l=1}^{I_{k1}} I_{2,l}$ может делиться на сегменты второго уровня. При этом на какое число сегментов второго уровня может делиться конкретный сегмент первого уровня I_{mi} зависит от необходимости создать

узнаваемую модель земной поверхности (есть разница как моделировать море и как моделировать город). Каждый сегмент второго уровня I_{2i} может делиться на сегменты третьего уровня I_{3i} и т.д. Условия деления каждого сегмента более высокого уровня на сегменты более низкого сегмента зависят от задач, поставленных Заказчиком перед обучающим комплексом.

Нахождение оптимального числа делений модели района полётов на сегменты разного уровня является сложной задачей. В настоящее время практически во всех авиационных тренажёрах принято делить модель района полётов на четыре типа сегментов, что было связано с разработкой канадским концерном CAE (длительное время бывшим мировым лидером авиационного тренажёростроения). Компьютерные генераторы, обеспечивающие обучение лётчиков визуальной посадке на узнаваемую модель взлетно-посадочной полосы конкретного аэродрома и обучение управлению моделью летательного аппарата при движении по узнаваемым рулёмным дорожкам этого аэродрома. Следствием такого подхода являлась разработка структуры базы данных, каждый сегмент представлялся в виде плоской фигуры «прямоугольный треугольник». Этого было достаточно для обучения лётчика пилотированию летательного аппарата и решению навигационных задач при визуальной посадке на модель взлетно-посадочной полосы. При этом основной характеристикой компьютерных гене-

раторов изображения являлось число обрабатываемых примитивов.

Сейчас для подготовки водителей транспортных средств всё более актуально становится задача обучения лётчика и водителя решению задач, связанных с визуальной ориентировкой в пространстве. Это требует иного подхода к разработке структуры базы данных. Если следовать принципу «горизонтальной масштабируемости» *Big Data*, то копирование подходов для обучения лётчика пилотирования визуальной посадки на модель взлетно-посадочной полосы и для создания баз данных, позволяющих обеспечить непрерывную визуализацию модели внешней среды. При произвольном движении модели транспортного средства в модели внешней среды неизбежно приводит к неприемлемому результату – время обработки баз данных превышает заданный цикл режима реального времени, а также недостаточной насыщенности моделями реперных объектов наблюдаемой части района полётов. При этом существующие методы разработки структуры баз данных не ориентированы на их использование в режиме реального времени. Главное отличие при обработке баз данных компьютерными генераторами изображения, необходимо учитывать время обработки самой базы данных, а именно: время выбора на первом этапе активных сегментов первого уровня, а затем время выбора из активных сегментов второго уровня активных сегментов третьего уровня и т.д. Для этого необходимо перейти от принятого сейчас учёта производительности компьютерных генераторов изображения, на максимальное число визуальных примитивов типа «3D-полигон» к учёту возможного числа обрабатываемых примитивов разного типа с учётом времени необходимого на обработку баз данных.

Заключение. Анализ известных баз данных для компьютерных генераторов изображения имитаторов визуальной обстановки тренажёров, где в режиме реального времени синтезируется внешний вид модели пространства, видимого через остекление кабины тренажёра подготовки водителей транспортных средств, включая лётчиков, машинистов локомотивов и судоводителей показал:

1. При структурировании базы данных является исключением на этапе сценарного процесса сегментов базы данных с содержащимися в них моделями 3D-объектов, которые в данный момент времени не видны лётчику.

2. Каждая модель одного и того же 3D-объекта отличается от другой по числу визуальных примитивов, используемых для её синтеза.

3. Для расчёта времени обработки базы данных целесообразно использовать допустимое время обработки всех сегментов и зная время обработки примитивов указывать сколько примитивов могут располагаться в каждом сегменте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <https://habr.com/ru/post/267361/> (дата обращения 15.12.2021).

2. Roganov V., Mikheev M., Esimova N., Babich M., Butaev M., Kukuchkina O. "On the assessment of the image model of 3D models synthesized by optical-software-technical systems" // Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies, MWENT 2020 - Proceedings. 2020. – pp. 9067481.

3. Roganov V., Roganova E., Glebova T. Requirements for optical-hardware-software systems for modeling three-dimensional visually observable space for training simulators for locomotives//2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018. 2018. – pp. 8602860.

4. Роганов В.Р., Герасимова А.В., Роганова Э.В., Глебова Т.А. Требования к оптико-аппаратно-программным системам моделирования трехмерного визуально наблюдаемого пространства для тренажёров подготовки машинистов локомотивов//Современные информационные технологии. 2019. № 29. – С. 78-82.

5. Гришина Ю.С., Роганов В.Р. Расширение списка задач обучения лётчиков при полётах на авиационных тренажёрах//В сборнике: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. Материалы III межрегиональной научно-практической конференции. Научный редактор Б.В. Соколов. 2017. С. 135-137.

6. Роганов В.Р. By solving the problem of providing the necessary quality of the model of the surrounding space//Современные информационные технологии. 2015. № 22. – С. 7-13.

7. Годунов А.И., Петухов М.В., Роганов В.Р. Обработка информационных потоков в авиационных тренажерах//Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем: процессы, модели, эксперимент. 1997. № 2. – С. 37.

8. Roganov V., Esimova N., Kuvshinova O., Lavendels J. 3D systems that imitate visually observable objects to train a person's ability to visually determine distance to a selected object// Proceedings - 2019 21st International Conference "Complex Systems: Control and Modeling Problems", CSCMP 2019. 2019. – pp. 600-603.

9. Roganov V.R., Kuvshinova O.A., Grintsov D.M. To issue of semiotic component visible for pilot of space model beyond cabin of aircraft simulator//В сборнике: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). Lecture notes in mechanical engineering. Chelyabinsk, 2021. – pp. 420-428.

10. Vyatkin S.I., Dolgovesov B.S. Combined method of visualization of functionally defined surfaces and three-dimensional textures//Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2019. Vol. 55. N 2. – pp. 172-180.

11. Nechai T., Korop G., Roganov V., Roganova E., Chirkina M. Information and computing system for planning of management of railway stations of industrial enterprises// Advances in social science, education and humanities research. Proceedings of the International Conference Communicative Strategies of Information Society (CSIS 2018). 2019. – pp. 246-251.

12. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Гринцов Д.М. К вопросу о семиотической составляющей видимой для лётчика модели пространства за кабиной авиационного тренажёра//В сборнике: Пром-Инжиниринг. труды VI Всероссийской научно-технической конференции. Челябинск, 2020. – С. 63-67.

13. Пыллов П.А., Протождяконов А.В. Deviation in the Big Data and its visualization//Инновации. Наука. Образование. 2021. № 30. – С. 712-717.

14. Роганов В.Р., Роганова Э.В., Игонин О.О. Построение подстилающих поверхностей для размещения моделей реальных объектов в моделях реальной местности при фиксированных точках расположения наблюдателя//Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2008. № 1-2 (11). – С. 119-126.

15. Vyatkin S.I., Dolgovesov B.S. Compression of geometric data with the use of perturbation functions//Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2018. Vol. 54. N 4. pp. 1.

16. Stroo D.M.G. Big insight: visualisation in relation to business intelligence, Big Data and Data Science//Big Data and Advanced Analytics. 2015. N 1. – pp. 77-87.

17. Roganov V.R., Kuvshinova O.A., Asmolova E.A., Esimova N.S., Omirbekov R.U., Aidarbek G.K. The task of increasing the number of training situations as one of the areas for improving the ergatic software and hardware systems aviation simulator// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021,

1061(1), 012014

18. Morozov B.B., Dolgovesov B.S., Mazurok B.S., Gorodilov M.A. Constructing distributed multimedia virtual environment with multichannel visualization of media data on graphic accelerators//Programming and Computer Software. 2014. Vol. 40. N 4. – pp. 193-198.

19. Пылов П.А., Протодяконов А.В. Visualization of Big Data on various correlation graphs//Инновации. Наука. Образование. 2021. № 30. – С. 730-736.

20. Vasenin V., Zanchurin M., Zenzinov A., Korshunov A., Krivchikov M., Roganov V., Shachnev D. Automation in complex software systems lifecycle for 'Istina' data analysis system//Proceedings - 2019 Actual Problems of Systems and Software Engineering, APSSE 2019. 2019. – pp. 103-108.

21. Роганов В.Р., Петряева З.В., Четвергова М.В. Программный модуль обработки исходных данных для составления общего списка реперных объектов для включения их в моделируемые сцены визуализации имитаторов авиационного тренажёра//Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020616156, 11.06.2020. Заявка № 2020615418 от 28.05.2020

22. Зубов Н.П. Концепция разработки и применения учебного командного пункта в составе тренажерно-моделирующего комплекса тактической подготовки личного состава авиационной группы оперативно-тактической авиации//Вестник Академии военных наук. 2013. № 2 (43). – С. 120-127.

23. Роганов В.Р., Кувшинова О.А., Четвергова М.В. Программный модуль сортировки названий реперных объектов для формирования тезауруса реперных объектов трёх сцен имитаторов, синтезирующих изображение местности, видимое через остекление кабины авиационного тренажёра, на экране имитатора радиолокатора и на экране имитатора тепловизора//Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020616157, 11.06.2020. Заявка № 2020615419 от 28.05.2020.

24. Роганов В.Р., Филиппенко В.О., Асмолова Е.А., Михеев М.Ю. Расширение списка задач обучения на авиационном тренажере при полётах в режиме постоянной видимости земли// Современные информационные технологии. 2016. – № 24. – С. 49-55.

Статья поступила в редакцию 25.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 004.912, 004.89

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0002

АНАЛИЗ ПОЛЯРНОСТИ НАСТРОЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ПЕРИОД COVID-19

© 2022

Зоткина Алена Александровна, аспирант кафедры «Программирование»

Мартышкин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Программирование»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11,

e-mails: alena.zotkina.97@mail.ru, alexey314@yandex.ru)

Аннотация. Обоснована методика анализа полярности настроений пользователей социальных сетей в период пандемии COVID-19 с использованием в качестве платформы для создания контента социальной сети *ВКонтакте*. Рассмотрены этапы анализа: сбор данных, полученных при помощи модуля для создания скриптов *VK_API*, предварительная обработка данных через конвейер обработки естественного языка (токенизация, нормализация, лемматизация), создание модели и ее оценка. Для решения задачи используется высокоуровневый язык программирования *Python* с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, в синтаксисе которого содержатся библиотеки *NumPy*, *Theano*, *Lasagne*. Представлена модель машины опорных векторов (*SVM*) для классификации данных, для этого используются три класса тональности текста: отрицательный, положительный и негативный. Для анализа использованы модули обработки естественного языка (*NLTK*) и *TextBlob* с различными типами ядер, а для классификаций настроений с повышенной точностью – полиномиальные и радиальные базисные функции. Показан результат тестирования классификаторов ядер, приведен пример обучения оптимизатора и его реализации. В заключении сформулированы основные выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: социальные сети, вакцинация, коронавирус, *ВКонтакте*, *SVM*, *TextBlob*, *NLTK*.

ANALYSIS OF THE SOCIAL NETWORKS USERS' MOOD POLARITY DURING THE COVID-19 PERIOD

© 2022

Zotkina Alena Aleksandrovna, postgraduate of sub-department «Programming»

Martyshev Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, head of sub-department «Programming»

Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11,

e-mails: alena.zotkina.97@mail.ru, alexey314@yandex.ru)

Abstract. The article includes an analysis of the sentiments of social media users during the COVID-19 period. It was noted that the public network *Vkontakte* will be used as a social platform for the collection. The structure of the analysis of the polar moods of users of the information space is given. Analysis steps included: data collection, getting help from the module to create *VK_API* scripts, data preprocessing through natural language processing (tokenization, normalization, lemmatization), model creation and evaluation. It is noted that the implementation of the noted task uses the high-level Python programming language with dynamic strong typing and automatic memory management, the syntax of which contains the libraries *NumPy*, *Theano*, *Lasagne*. Shows how to create a support vector machine (*SVM*) model for data classification. It is noted that three classes of text sentiment are used for data classification: negative, positive and negative. The use of natural language processing modules (*NLTK*) and *TextBlob* is justified. The article considers various types of nuclei. It is noted that for the analysis of mood classifications, polynomial and radial basis functions will be used in order to identify the highest accuracy. The result of testing kernel classifiers is shown. An example of training the optimizer and its implementation is given. In conclusion, the main conclusions on the work done are formulated.

Keywords: social networks, vaccination, coronavirus, *Vkontakte*, *SVM*, *TextBlob*, *NLTK*.

Введение. Начиная с 2020 г. по всему миру распространяется коронавирусная инфекция COVID-19, которая затронула все сферы человеческой жизни. В ежедневный обиход вошли слова «карантин», «локдаун», «чрезвычайное положение», «эпидемия», «пандемия», «коллективный иммунитет» и другие понятия. COVID-19 повлиял на глобальную экономику, мировую политику, международные отношения и изменил ценности и установки общества, привычки и повседневные реалии. Острой проблемой для государ-

ства на данный момент является вопрос вакцинации населения, ставшей проблемой не только врачей, но и всего общества. Выявление полярности настроений поможет врачам и исследователям уяснить причины нерешительности отдельных лиц в отношении вакцинации и поправить ситуацию.

В наше время масштабы использования интернета в качестве социальной платформы для создания контента выросли с появлением микроблогов, таких как *Vkontakte*, *Instagram* и др., в них люди обмениваются

между собой информацией, публикуют свои мнения. Информация пользователя часто используется маркетологами для сбора и систематизации отзывов об их продукте в сообществе, в последнее время возрос интерес к такому анализу в связи с пандемией. Однако при стремительно возрастающем количестве блогов и постов уследить за отслеживаемой информацией затруднительно. Таким образом, реализация модели анализа настроений становится очень актуальной. Идея анализа настроений пользователей базируется на машинном обучении при обработке полученных

данных.

Целью данной работы является разработка модели для классификации полярности настроений с использованием метода опорных векторов (*SVM – Support Vector Machine*).

Материалы и результаты исследования. Для определения круга лиц, выступающих за вакцинацию или против нее, важно классифицировать мнения, высказанные пользователями социальной сети *Vkontakte*. На рисунке 1 показана структура анализа полярности настроений пользователей социальной сети.

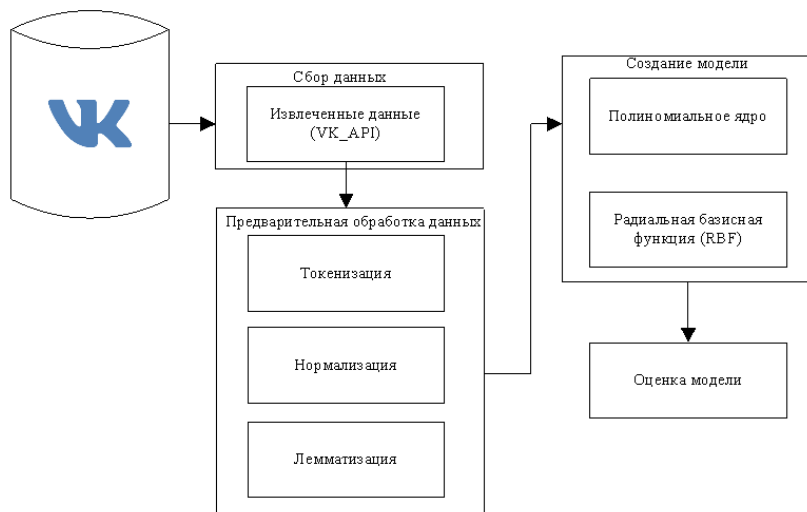


Рисунок 1 – Структура анализа полярности настроений на основе социальной сети *Vkontakte*

Первый этап – сбор данных из социальной сети *Vkontakte*. Социальная сеть снабжена средствами для взаимодействия и извлечения информации при помощи *VK_API* [1]. Чтобы обратиться к методу *API VKontakte*, необходимо выполнить *POST* или *GET* запрос следующего вида: `requests.get('https://api.vk.com/method/wall.get')`. Код для парсинга данных из социальной сети пишется на *Python* [2] – языке программирования, считающимся высокоуровневым. Этот язык поддерживает динамическую строгую типизацию, т.е. переменная начинает работать с типом в момент ее присваивания, что обозначает, что одна и та же переменная может принимать различные типы данных. Еще одним преимуществом использования *Python* является свойство автоматического управления памятью [3]. *Python* располагает множеством ресурсов, которые облегчают организацию машинного обучения, что выгодно отличает его от любого другого языка. Использование специальных инструментов, таких, как пакеты *pandas* (библиотека с открытым исходным кодом), предоставляющая высокопроизводительные, простые в использовании структуры данных и инструменты анализа для языка программирования *Python*, и *numpy*, позволяет достичь высокой производительности в обработке данных [4, 5].

В синтаксисе *Python* содержатся следующие библиотеки:

1) *NumPy* – поддерживает большие многомерные массивы и матрицы вместе с большой библиотекой высокоуровневых (и очень быстрых) математических

функций для операций с этими массивами. Предоставляет возможность использования генератора случайных чисел [6];

2) *Theano* – используется для быстрых численных вычислений, может быть запущена на *CPU* или *GPU*. Это ключевая базовая библиотека для глубокого обучения в *Python*. Основными качествами, послужившими в пользу ее выбора, стали интеграция с *numpy* и использование при разработке библиотеки символьного подход, в отличие от императивного в других пакетах. Записывая вычисления в символьной парадигме, можно задать граф вычислений, который в дальнейшем будет скомпилирован и исполнен. Благодаря тому, что на этапе компиляции происходит ряд оптимизаций в коде, вычисления становятся более эффективными в части потребной памяти и скорости исполнения [7, 8];

3) *Lasagne* – используется для создания и обучения нейронных сетей в *Theano*. Она поддерживает сети передачи данных, такие как сверточные нейронные сети (*CNN*), сверточные сети, включая *Long Short-Term Memory (LSTM)* и любую их комбинацию [9]. Важно отметить, что модель *LSTM (Long Short-Term Memory)*, доминирует в большинстве задач НЛП в последние несколько лет, достигая самых высоких результатов. Подход *LSTM* считывает текст последовательно и сохраняет информацию, относящуюся к текущей задаче. В *LSTM* имеются ячейки, которые контролируют, какая информация запоминается, а что забывается. В случае анализа социальных сетей очень важно отличие и различие между «отлично» и «не очень».

LSTM, обученный предсказанию настроений, уяснит, что это важно, и научится понимать, какие слова следует отрицать. В отношении чтения больших объемов текста *LSTM* можно рассматривать как «изучение» грамматических правил [10, 11].

Несколько ключевых слов, таких как вакцина, прививка, эпидемия, коронавирус используются для извлечения данных. Затем данные обрабатываются в электронных таблицах с использованием вышеуказанных библиотек. Следующим этапом является предварительная обработка данных через конвейер обработки естественного языка. Необходимые шаги включают следующие действия: токенизация, нормализация и лемматизация [12, 13].

Токенизация. Язык в его исходной форме не может быть точно воспринят машиной, поэтому необходимо обработать язык, чтобы машине было легче понять. Первая часть понимания данных – процесс, называемый токенизацией, или разделением строк на более мелкие части, называемые токенами. Маркер – последовательность символов в тексте, которая служит единым целым. Основной способ разбить язык на токены – разделить текст на основе пробелов и знаков препинания [14].

Нормализация. При данном процессе удаляются стоп-слова, знаки препинания, прописные буквы. Примерами стоп-слов являются: «если», «но», «а», «значит» и т. д. [15].

Лемматизация. Алгоритм лемматизации анализирует структуру слова и его контекст, чтобы преобразовать его в нормализованную форму. Очевидно, что это происходит в ущерб скорости. В отличие от стемминга лемматизация сохраняет часть речи слова без разделения суффиксов [16].

После этапа предварительной обработки данных создается модель машины опорных векторов для классификации данных. Одним из главных преимуществ использования *SVM* является то, что он уменьшает риск ошибки обобщения классификатора. Для классификации данных используют три класса: положительный, отрицательный и нейтральный. В этом процессе участвуют модули *Natural Language Tool Kit (NLTK)* и *Text Blob* [19, 20].

Для реализации метода классификации *SVM* была изображена гиперплоскость данных, разделение на классы проводилось при помощи математической функции ядра. В анализе классификации настроений можно использовать различные типы ядер, такие как линейные, сигмоидальные, радиальные базисные функции (*RBF*), также известные как гауссовы, нелинейные и полиномиальные, которые являются наиболее популярными [20]. В данном исследовании были использованы полиномиальные и радиальные базисные функции, с целью выяснения, какое из ядер может достичь наивысшей точности. На заключительном этапе модель оценивается по ее производительности.

Результаты тестирования предложенного решения. *Textblob* позволяет разделить комментарии пользователей по полярности на три категории: положи-

тельные, отрицательные и нейтральные. На рисунке 2 показано процентное соотношение комментариев. На следующем этапе оценивалась выбранная модель. В ходе тестирования классификаторов обоих типов ядер установлено, что использование ядра с радиальной базисной функцией дает более высокую точность классификации данных, чем полиномиальное ядро.



Рисунок 2 – Процентное соотношение комментариев в зависимости от категории

Заключение. В настоящее время многие виды исследований сосредоточены на анализе тональности сообщений и комментариев о вакцинации пользователей социальных сетей. Существование социальных сетей упростило получение мнений пользователей. Выполненное авторами исследование помогает создавать программное решение для анализа тональности сообщений, накопленных с помощью модуля *Textblob* и классификатора машины опорных векторов. Однако следует учитывать то, что из-за слабости предварительной фильтрации данных точность может оказаться ниже ожидаемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Знакомство с API ВКонтакте [Электронный ресурс]. – URL: https://vk.com/dev/first_guide/ (дата обращения: 21.01.2022).
2. Маккинни, У. Python и анализ данных / У. Маккинни; перевод с английского А. А. Слинкина. – 2-ое изд., испр. и доп. – Москва: ДМК Пресс, 2020. – 540 с.
3. Д. Грас. Data Science. Наука о данных с нуля / перевод с английского А.А. Логунова. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2020. – 411 с.
4. Библиотека Pandas [Электронный ресурс]. – URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/pandas/> (дата обращения: 21.01.2022).
5. Учебник по библиотеке NumPy: учитесь на примерах [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythonist.ru/uchebnik-ro-biblioteke-numpy-uchites-na-primerah/> (дата обращения: 21.01.2022).
6. Учебник по NumPy - Визуализация примеров для быстрого изучения [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythonscripts.com/numpy> (дата обращения: 21.01.2022).
7. GitHub - PacktPublishing/Deep-Learning-with-Theano: Deep Learning with Theano, published by Packt [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/PacktPublishing/DeepLearning-with-Theano> (дата обращения: 21.01.2022).
8. Библиотеки для глубокого обучения Theano/Lasagne / Хабр [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/323272/> (дата обращения: 20.01.2022).

9. Welcome to Lasagne – Lasagne 0.2. dev1 documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://lasagne.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 19.01.2022).
10. Conrad Tiflin. LSTM Recurrent Neural Networks for Signature Verification, 2012. 104.
11. LSTM – нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью [Электронный ресурс]. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/lstm-nejronnaja-set/> (дата обращения: 20.01.2022).
12. B. M. Lake, T. D. Ullman, J. B. Tenenbaum, and S. J. Gershman. Building machines that learn and think like people. arXiv Report 1604.00289, 2016.
13. Курс по теоретическому глубокому машинному обучению deep learning в nlp. Лекции 1–5. [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/deepnlp/tdl> (дата обращения: 20.01.2022).
14. Токенизация в Python с использованием NLTK [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythobyte.com/tokenization-in-python-using-nltk-96642092/> (дата обращения: 20.01.2022).
15. Нормализация данных в Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://pythonist.ru/normalizacziya-dannyh-v-python/> (дата обращения: 20.01.2022).
16. Подходы лемматизации с примерами на Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://webdevblog.ru/podhody-lemmatizacii-s-primerami-v-python/> (дата обращения: 20.01.2022).
17. SVM. Объяснение с нуля и реализация на python. Подробный разбор метода опорных векторов Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/484148/> (дата обращения: 20.01.2022).
18. Pang B. & Lee L. Opinion Mining and Sentiment Analysis // Foundations and Trends in Information Retrieval, v.2 n.1-2, January, 2008 - pp.1-135.
19. Решение задач NLP с использованием TextBlob [Электронный ресурс]. – <https://egorovegor.ru/textblob-python-nlp/> (дата обращения: 20.01.2022).
20. Chenhao Tan, Lillian Lee, Jie Tang, Long Jiang, Ming Zhou, and Ping Li. Userlevel sentiment analysis incorporating social networks // Proceedings of the Sixteenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD), 2011.

Статья поступила в редакцию 26.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 519.63

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0003

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ CO₂ И ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ДВС

©2022

Зеленков Геннадий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор,
начальник кафедры «Высшая математика и физика»

Данцевич Игорь Михайлович, кандидат технических наук, доцент

Мышкина Алена Николаевна, аспирант

Государственный морской университет им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова

(353924, Россия, Новороссийск, пр-т Ленина, 93,

e-mails: mathshell@mail.ru, dantsevich65@mail.ru, alena--n@mail.ru)

Аннотация. Одна из основных экологических проблем флота – загрязнение атмосферы выбросами с отработавшими газами судовых дизельных двигателей. Отработавшие газы дизелей содержат большое количество токсичных веществ, основные из которых: оксиды азота NO_x , оксиды серы SO_x , оксиды углерода CO_x , альдегиды, углеводороды, сажа. А что касается методов внешнего (на выпуске) снижения уровня выбросов, то здесь необходима нейтрализация продуктов сгорания, что позволяет с высокой степенью эффективности удалить токсичные вещества из отработавших газов и уложиться в нормы международных экологических требований. Использование смешанных (бинарных) растворов солей позволяет изменять энергию гидратации данного раствора, определяющую свойства раствора солей. С помощью экспериментальных методов можно сделать вывод о структуре бинарного растворителя. На основании теоретических знаний рассчитываются основные физические свойства бинарных растворов солей, а именно: вязкость, диэлектрическая проницаемость, плотность и др. Теоретический расчет свойств бинарных смесей определенного состава может быть осуществлен лишь в том случае, если все химические формы, стехиометрия, константа равновесия процесса имеют достаточную определенность. Сведения о жидкой системе в источниках встречаются редко. Поэтому параметры свойств смешанных растворов такие как: диэлектрическая проницаемость, вязкость, плотность и др., находится экспериментально. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию по оценке эффективности применения жидкостных нейтрализаторов для снижения основного компонентного состава отработавших газов двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: нейтрализация, оксид азота, оксид серы, оксид углерода, отработавший газ, скруббер-охладитель, математическая модель, бинарный раствор.

MATHEMATICAL MODEL OF NEUTRALIZATION OF CO₂ AND ICE COMBUSTION PRODUCTS

©2022

Zelenkov Gennady Anatolyevich, doctor of physical and mathematical sciences, professor,
head of the department of Higher Mathematics and Physics

Dantsevich Igor Mikhailovich, candidate of technical sciences, associate professor

Myshkina Alena Nikolaevna, postgraduate student

State Maritime University named after Admiral F.F. Ushakov

(353924, Russia, Novorossiysk, Lenin Ave., 93,

e-mails: mathshell@mail.ru, dantsevich65@mail.ru, alena--n@mail.ru)

Abstract. One of the main environmental problems of the fleet is atmospheric pollution with exhaust gases from marine diesel engines. The exhaust gases of diesel engines contain a large amount of toxic substances, the main of which are: nitrogen oxides NO_x , sulfur oxides SO_x , carbon oxides CO_x , aldehydes, hydrocarbons, soot. As for the methods of external (at the outlet) reduction of emissions, here it is necessary to neutralize the products of combustion, which makes it possible to remove toxic substances from exhaust gases with a high degree of efficiency and meet the standards of international environmental requirements. The use of mixed (binary) salt solutions makes it possible to change the hydration energy of a given solution, which determines the properties of the salt solution. Using experimental methods, one can draw a conclusion about the structure of a binary solvent. Based on theoretical knowledge, the main physical properties of binary salt solutions are calculated, namely: viscosity, dielectric constant, density, etc. A theoretical calculation of the properties of binary mixtures of a certain composition can be carried out only if all chemical forms, stoichiometry, and the equilibrium constant of the process have sufficient certainty. Information about the liquid system in the sources is rare. Therefore, the parameters of the properties of mixed solutions, such as: permittivity, viscosity, density, etc., are found experimentally. This work is devoted to an experimental study to evaluate the effectiveness of the use of liquid neutralizers to reduce the main component composition of the exhaust gases of an internal combustion engine.

Keywords: neutralization, nitrogen oxide, sulfur oxide, carbon monoxide, exhaust gas, scrubber-cooler, mathematical model, binary solution.

Введение. Смесь воды и гидроксида натрия – хорошо изученный растворитель. Данный раствор относится к классу бинарных смесей воды и неорганических растворителей [1]. Этот раствор является важным для химической технологии, так как такие свойства как: вязкость, диэлектрическая проницаемость, мольный объем, плотность и т.д. могут широко меняться в зависимости от соотношения компонентов, а в системе вода-*NaOH* эти компоненты смешиваются при стандартных условиях неограниченное количество раз [2].

Физико-химические свойства растворов электролитов приводят к взаимодействию между растворенными ионами и растворителем, где под действием растворителя совершается распад электролитов на ионы. Данный процесс называется электролитической диссоциацией. Это понятие ввел шведский ученый Сванте Аррениус. От концентрации ионов качественно зависит такой параметр как: константа диссоциации. Чем больше ионов в полученном растворе, тем больше значение константы диссоциации.

Константу диссоциации можно записать в следующем виде [3]:

$$K = \frac{[A^x]^\alpha [B^y]^\beta}{[A_a B_b]} \quad (1.1)$$

А для бинарного электролита формула (1.1) будет выглядеть так [4]:

$$K = \frac{[A^{x-}][B^{y+}]}{[AB]} \quad (1.2)$$

Целью статьи является описать процесс нейтрализации продуктов сгорания дифференциальным уравнением, а также построить математическую модель зависимостей теплопроводности растворов солей от температуры, что позволит создать автоматическую систему управления, где температура технологических газов на выходе скруббера – регулируемый параметр процесса:

$$\lambda(T, N) = \frac{d\lambda}{dt}, \quad (1.3)$$

где T – температура электролита в скруббере, N – концентрация солей, λ – коэффициент теплопроводности.

В скрубберах с закрытым контуром система работает в замкнутом цикле, т.е. промывочная вода циркулирует внутри скруббера. Отработавший газ поступает в скруббер, где распыляется пресная вода, смешанная с каустической содой *NaOH*. Оксиды серы, содержащиеся в отработавших газах, вступают во взаимодействие с этой смесью и таким образом нейтрализуются [5].

Таблица 1 – Показатели работы системы нейтрализации [6]

Эффективность очистки, %	SO ₂	CO ₂	NO _x
	99	77	66
Качество промывочной воды	pH	Температура	Замутненность
	6,7	32	8,7

Процесс нейтрализации CO₂ можно описать дифференциальным уравнением растворимости. Твердая фаза будет содержать кристаллизационную воду и находится в равновесии с раствором соль-вода. В твер-

дой фазе находится гидрат соли, который имеет следующий состав: A^*rH_2O [7];

Исходя из этого следует следующее условие:

$$\omega'_1 = \omega_1 \div r\omega_0, \quad (1.4)$$

где ω – химический потенциал твердого гидранта, ω_1 и ω_0 – химические потенциалы соли в водном растворе, r – мольная доля соли в растворе. ω_1 зависит только от давления и температуры, что и является постоянным. Поэтому, продифференцировав, мы получаем следующее:

$$d\omega_1 + dr\omega_0 = 0 \quad (1.5)$$

В качестве независимых переменных выберем ω_1 и y_1 , где y_1 – мольная доля воды в растворе, тогда:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial y_1} * dy_1 + \frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_0} * d\omega_0 + r d\omega_0 = 0 \quad (1.6)$$

$$\frac{d\omega_0}{dy_1} = - \frac{\frac{\partial \omega_0}{\partial y_1}}{r + \frac{d\omega_1}{d\omega_0}} \quad (1.7)$$

И это является искомым дифференциальным уравнением.

Рассмотрим твердый раствор гидратов A^*rH_2O и B^*rH_2O и запишем для него условие равновесия

$$\omega'_1 = \omega_1 + r\omega_0 \quad (1.8)$$

$$\omega'_2 = \omega_2 + r\omega_0$$

ω'_1 и ω'_2 – химические потенциалы гидратов A^*rH_2O и B^*rH_2O в твердом растворе; ω_1 , ω_2 , ω_0 – химические потенциалы соли.

Температура и давление постоянны, поэтому ω'_1 и ω'_2 зависят только от состава твердого раствора. Продифференцировав условие равновесия, получим следующее:

$$d\omega'_1 = d\omega_1 + dr\omega_0 \quad (1.9)$$

$$d\omega'_2 = d\omega_2 + dr\omega_0$$

Мольные доли гидратов A^*rH_2O и B^*rH_2O в твердом растворе – x_1 и x_2 . Независимая переменная для твердой фазы – x_1 , а для жидкой – ω_0 и y_1 .

Уравнениям (1.9) придаем следующий вид:

$$\frac{\partial \omega'_1}{\partial x_1} * dx_1 = \frac{\partial \omega_1}{\partial y_1} * dy_1 + \left(r + \frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_0}\right) d\omega_0;$$

$$\frac{\partial \omega'_2}{\partial x_1} * dx_1 = \frac{\partial \omega_2}{\partial y_1} * dy_1 + \left(r + \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0}\right) d\omega_0. \quad (1.10)$$

Для твердой фазы запишем уравнение Гиббса – Дюгема [8]:

$$x_1 \frac{\partial \omega'_1}{\partial x_1} + x_2 \frac{\partial \omega'_2}{\partial x_2} = 0. \quad (1.11)$$

Умножив первое уравнение в (1.10) на x_1 , а второе на x_2 и затем их сложим, учитывая (1.11) и условие $x_1 + x_2 = 1$, находим:

$$\left(x_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial y_1} + x_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial y_1}\right) dy_1 + \left(r + x_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_0} + x_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0}\right) * d\omega_0 = 0 \quad (1.12)$$

Поскольку:

$$y_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial y_1} + y_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial y_2} = 0, \quad (1.13)$$

Из (1.12) следует:

$$\left(x_1 - x_2 \frac{y_1}{y_2}\right) \frac{\partial \omega_1}{\partial y_1} + \left(r + x_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_0} + x_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0}\right) * \frac{d\omega_0}{dy_1} = 0, \quad (1.14)$$

Т.к. $x_1 - x_2 \frac{y_1}{y_2} = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{y_2} = \frac{x_1 - y_1}{y_2}$, то уравнению (1.14) придаем вид

$$\frac{d\omega_0}{dy_1} = \frac{y_1 - x_1}{y_2} * \frac{\frac{\partial \omega_1}{\partial y_1}}{r + y_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_0} + x_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0}} \quad (1.15)$$

что и является искомым дифференциальным уравнением [9].

Рассмотрим альтернативный вариант процесса нейтрализации CO₂ дифференциальным уравнением растворимости.

Если в твердой фазе находится соединение $A_r B_q \cdot r H_2 O$, то условием равновесия будет являться следующее:

$$\omega_r' = \tau \omega_1 + q \omega_2 + r \omega_0, \quad (1.16)$$

где ω_r' – химический потенциал твердого соединения $A_r B_q \cdot r H_2 O$. Он зависит только от температуры и давления. Поэтому продифференцировав (1.16), мы получаем следующее:

$$\tau d\omega_1 + q d\omega_2 + r d\omega_0 = 0, \quad (1.17)$$

где τ – коэффициент температуры.

Выбрав независимые переменные для водного раствора ω_0 и y_1 , уравнение (1.17) примет вид:

$$\left(\tau \frac{\partial \omega_1}{\partial y_1} dy_1 + \tau \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0} d\omega_0 + q \frac{\partial \omega_2}{\partial y_1} dy_1 + q \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0} d\omega_0 + r d\omega_0 = 0 \right) \quad (1.18)$$

Используя уравнение (1.13), исключаем из уравнения (1.18), проведя преобразование, получаем:

$$\frac{d\omega_0}{dy_1} = \frac{qy_1 - \tau y_2}{y_2} * \frac{\frac{\partial \omega_1}{\partial y_1}}{r + \tau \frac{\partial \omega_1}{\partial \omega_0} + q \frac{\partial \omega_2}{\partial \omega_0}}, \quad (1.19)$$

что и является искомым дифференциальным уравнением [10].

Численное моделирование зависимостей теплопроводности растворов солей от температуры. Экспериментальные данные по теплопроводности бинарных растворов солей хорошо лежат на одной общей кривой (рис. 1). Эта зависимость описывается уравнением параболического типа

Таблица 2 – Расчетные значения коэффициента теплопроводности водных растворов системы NaCl-CaCl₂-NaOH и сравнение их с экспериментальными данными $\lambda_{расч} \cdot 10^3, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ [13]

Т, К	3% NaCl + 1% CaCl ₂ + 1% KCl + H ₂ O		9% NaCl + 3% CaCl ₂ + 3% KCl + H ₂ O		12% NaCl + 4% CaCl ₂ + 4% KCl + H ₂ O	
	$\lambda_{расч}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{расч}$	$\Delta, \%$	$\lambda_{расч}$	$\Delta, \%$
303,16	611	0	603	0	599	0
323,17	636	-0,31	627	-0,48	623	-0,32
353,19	662	-0,31	653	-0,31	649	-0,31
373,16	673	0	664	0	660	0
393,17	679	0,15	670	0,15	665	0,15
423,22	677	0	667	-0,15	663	0
453,14	670	0	661	0	657	0
473,20	660	0,15	652	0,31	647	0,15
498,18	642	0,31	633	0,16	629	0,32
523,17	616	0	608	0	604	0
548,21	584	-0,17	576	-0,35	572	-0,35
573,23	544	0	537	0	533	0

$$\lambda = \lambda_0(A + B\tau + C\tau^2), \quad (1.20)$$

где $\tau = T/T_0$, T – температура на выходе, T_0 – температура на входе; A, B, C – коэффициенты, зависящие от температуры и природы электролита [11,12].

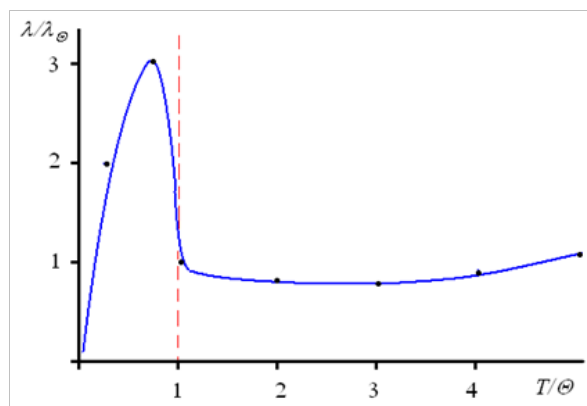


Рисунок 1 – Обобщенная зависимость коэффициента теплопроводности водных растворов электролитов от температуры

Результаты расчетов, выполненных по формуле (1.20), для водных растворов системы NaCl-CaCl₂-NaOH приведены в таблице 2.

На основании расчетных значений коэффициента теплопроводности водных растворов электролитов, можно построить график теплопроводности бинарных растворов электролитов, который показывает насколько изменяется температура в зависимости от коэффициента теплопроводности любого бинарного или многокомпонентного раствора при различных концентрациях электролита (рис. 2).

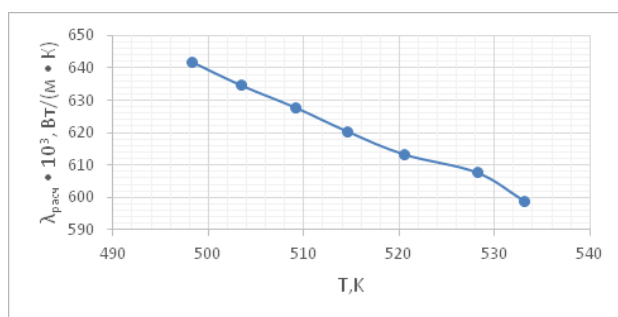


Рисунок 2 – График теплопроводности бинарных растворов солей

Заключение. В ходе исследования, выявлена температурная зависимость коэффициента теплопроводности раствора электролитов. Расчетные и экспериментальные данные по теплопроводности водных растворов системы $NaCl-CaCl_2-NaOH$ хорошо согласуются, максимальное расхождение в интервале температур 303...573 К составляет 0,48%. Построенная математическая модель нейтрализации CO_2 и продуктов сгорания позволит повысить эффективность нейтрализации отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Применяя эту математическую модель, такой подход максимально позволит нейтрализовать продукты сгорания, при этом укоряя процесс окисления отработавших газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Магомедов, У.Б. Теплопроводность водных растворов солей при высоких параметрах // Геотермия. Геологические и теплофизические задачи. Махачкала: Изд-во ДНЦ РАН, 1992. С. 168–187.
2. Сафронов, Г.А., Косолап, Ю.Г., Расторгуев Ю.Л. Экспериментальное исследование коэффициента теплопроводности бинарных растворов электролитов. М.: Деп. ВИНТИ. № 4262-В 90 26.07.90. 1990. 28 с.
3. Арефьев, Н.Н. Теплопроводность водных растворов натриевых солей. Дис...канд. техн. наук.- Нижний Новгород, 2019.- 112 с.
4. Косолап, Ю.Г. Теплопроводность смешанных растворов электролитов. Дис...канд. техн. наук.- Баку,1990.- 194 с.
5. Мищенко, П.А. Скруббер с пенным аппаратом для очистки отработавших газов судовых дизелей. Физико-математическая модель расчета пенного аппарата / П.А. Мищенко, О.В. Соляков, С.В. Титов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. - № 3-4. – С. 195-171
6. Соляков, О.В. Перспективы применения скрубберов для очистки отработавших газов судовых дизелей от оксидов серы. / О.В. Соляков, В.Н. Окунев // XVII Международный экологический форум «День Балтийского моря», Санкт – Петербург, 22-23 марта 2016 г. – СПб.: ООО «Свое издательство», 2016. – С. 163-165
7. Киргинцев, А.Н. Очерки о термодинамике смешанных водно-солевых систем. -Новосибирск: Наука, 1976. 200 с.
8. Зенин, Г.С. Химическая термодинамика. – СПб.: СЗПИ, 2009. 118 с.
9. Михайлов В.Б. Численно-аналитические методы решения сверхжестких дифференциально-алгебраических систем уравнений – СПб: Наука, 2015. 235 с.
10. Зарипов, Д.А. Физико-химические и термодинамические свойства смесей водяных растворов H_2O_2 или этиленгликоля с магнитным наполнителем в зависимости от температуры, давления, внешнего магнитного поля и кинетика их разложения. Дис...канд. техн. наук.- Барнаул,2015.- 120 с.
11. Эльдаров, В.С., Вахабов И.И., Бабаева С.Ш. и др. Анализ работ по теплопроводности многокомпонентных водных растворов солей // Изв. вузов. Нефть и газ. 1992. № 9-10. С. 59–62
12. Ким, О.Дж. Теория автоматического регулирования [Текст]: т. 2 / О.Дж. Ким; [пер. с англ.]. – М.: Физматлит, 2007.
13. Григорьев Е.Б., Григорьев Б.А. Таблицы рекомендуемых справочных данных. Теплопроводность смешанных водных растворов солей лантаноидов в диапазонах температур 290...470 К и давлениях 0,1...100 МПа. РСД ГСССД Р № 464, Деп. во ВНИЦСМВ 21.10.2002 г. № 800-ООКК Госстандарта РФ, 2008.- 20 с.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 004.624

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0004

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВИД СВЕДЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

© 2022

Кононов Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технология машиностроения»

Колобова Екатерина Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Прикладная информатика»

Фомина Мария Владимировна, магистрант кафедры «Прикладная информатика»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11,

e-mails: kononov-penza@rambler.ru, bel-eka@yandex.ru, topstar11@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматривается разработка универсального формата передачи данных для внутри-регионального обмена данными. Методика исследований предусматривала анализ существующих межведомственных взаимодействий в системе СМЭВ3 с целью поиска универсализации и ускорения внедрения новых видов информации к передаче. Для этого рассмотрен формат передачи блоков данных, выявлена возможность универсализации блока данных запроса. Для данного блока разработан формат универсальных данных. Разработанный универсальный формат передачи данных для внутрирегионального обмена данными позволяет сократить время вывода в работу новых видов информации для передачи, снизив финансовые затраты на разработку документов и программного обеспечения, а так же упростить процедуру подключения различных информационных систем к получению данных. Используя данный формат, имеется возможность передачи различных видов информации в рамках одного типа взаимодействия. В заключении приведены основные результаты и выводы по проведенной работе.

Ключевые слова: система межведомственного электронного взаимодействия, вид сведений, информационная система, информационные потоки, внутрирегиональный обмен данными, блок данных запроса.

UNIVERSAL VIEW OF INFORMATION FOR SYSTEMS OF INTERDEPARTMENTAL ELECTRONIC INTERACTION

© 2022

Kononov Vladimir Viktorovich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the department of Mechanical engineering technology

Kolobova Ekaterina Alexandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Applied Informatics

Fomina Maria Vladimirovna, undergraduate of the department Applied Informatics

Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11,

e-mails: kononov-penza@rambler.ru, bel-eka@yandex.ru, topstar11@mail.ru)

Abstract. The article discusses the development of a universal data transfer format for intra-regional data exchange. The research methodology included the analysis of existing interdepartmental interactions in the SMEV3 system in order to find universalization and accelerate the introduction of new types of information for transmission. For this, the data block transmission format is considered, the possibility of request data block universalization is revealed. For this block, a universal data format has been developed. The developed universal data transfer format for intra-regional data exchange makes it possible to reduce the time for launching new types of information for transmission, reducing financial costs for the development of documents and software, as well as simplifying the procedure for connecting various information systems to receive data. Using this format, it is possible to transfer different types of information within the same type of interaction. In conclusion, the main results and conclusions on the work carried out are presented.

Keywords: system of interdepartmental electronic interaction, type of information, information system, information flows, intra-regional data exchange, request data block.

Введение. Система взаимодействия представляет собой федеральную государственную информационную систему, позволяющую органам и организациям осуществлять информационный обмен на основе унифицированных правил взаимодействия между информационными системами органов и организаций (далее – электронные сервисы), а также обеспечивать единый технологический способ взаимодействия информационных систем органов и организаций (далее

– единый электронный сервис) посредством технологии очередей электронных сообщений в соответствии с зарегистрированными форматами передаваемых сведений (далее – виды сведений) и фиксацией фактов движения электронных сообщений в системе взаимодействия [1-2].

В целях осуществления информационного взаимодействия с использованием системы взаимодействия при обмене сообщениями органы и организации в

соответствии с техническими требованиями: разрабатывают типы и атрибуты данных, виды сведений единого электронного сервиса, используемые при обмене сообщениями, и поддерживают их работоспособность, поддерживают работоспособность программных и технических средств информационных систем, каналов связи и оборудования, осуществляют прием, обработку и передачу электронных сообщений с использованием системы взаимодействия и т.д. [3-6].

Количество информации, передаваемой между МФЦ, ведомствами, подведомствами и информационными системами других служб, неуклонно увеличивается. Кроме того, необходимо отметить, что количество передаваемой информации на региональном уровне значительно выше, чем при федеральных взаимодействиях, при этом, значительно увеличивается как количество передаваемых данных, так и количество информационных систем (ИС), подключающихся к взаимодействию [7-9]. При этом время маршрута от «решения» передавать информацию и до фактической работы между системами может занимать весьма продолжительное время (например, некоторые взаимодействия от постановки задачи до работы в продуктивной среде идут по времени до года) [10-12].

Типовой процесс регистрации нового взаимодействия выглядит следующим образом:

- регистрация вида сведений в тестовой среде системы межведомственного взаимодействия (СМЭВ);
- тестирование работы по данному виду сведений с эмулятором СМЭВ;
- тестирование сторонней информационной системы работы по данному взаимодействию;
- интеграционное тестирование между системами в тестовом контуре;
- регистрация вида сведений в продуктивной системе.

Каждое вновь разрабатываемое взаимодействие должно пройти все эти этапы. Кроме того, каждая новая система, работающая с данным взаимодействием, также проходит все этапы тестирования перед введением ее в эксплуатацию. Если разрабатываемая система планируется к работе с несколькими взаимодействиями, то данный процесс необходимо будет проходить для каждого взаимодействия. Если в уже разработанное и выведенное в продуктивную среду взаимодействие необходимо внести какие-либо корректировки (изменение названия передаваемого параметра, изменение длины передаваемого поля и др.), то опять же необходимо заново проходить процесс регистрации, только уже в качестве новой версии. Большое количество разных видов информации, зарегистрированных в качестве отдельных взаимодействий, в дальнейшем затрудняет поддержание их в актуальном состоянии.

Финансирование организации информационных потоков на региональном уровне весьма затруднено, как и обеспечение таких процессов для большого количества взаимодействий. В связи с этим возникает задача разработки такого формата передачи данных,

который позволил бы оперативно ввести в работу передачу новых видов информации – универсального формата передачи данных для внутрирегионального обмена данными.

Методика исследований предусматривала анализ существующих межведомственных взаимодействий в системе СМЭВ с целью поиска универсализации и ускорения внедрения новых видов информации к передаче. Для этого рассмотрен формат передачи блоков данных, выявлена возможность универсализации блока данных запроса. Для данного блока разработан формат универсальных данных.

Материалы и результаты исследования. Результаты/ СМЭВ-конверт (все сообщение целиком) с запросом сведений по простому протоколу обмена (`//SendRequestRequest`), направляемый информационной системой отправителя в СМЭВ включает следующие элементы [1]:

- блок данных запроса (`//SenderProvidedRequestData`), который включает структурированные сведения в соответствии с требованиями вида сведения, а также служебные данные, заполняемые инициатором сведений;
- блок содержимого вложений (`//AttachmentContentList`);
- электронная подпись (`//CallerInformationSystemSignature`).

Блок электронной подписи типовой и в данной статье не рассматривается.

Каждое отдельное взаимодействие, проходящее через СМЭВ, регламентируется форматом передачи данных *xsd*-схемой конверта (рис. 1).

Сведения, передаваемые в части `//SenderProvidedRequestData` передаются в явном виде. Сведения, передаваемые в блоке `//AttachmentContentList` передаются в закодированном (*base-64*) виде.

Помимо общего формата конверта, есть так же формат, определяющий структуру сообщения в блоке данных запроса. Такие регламенты создаются персонально под каждое взаимодействие и проходят процедуры регистрации на технологическом портале СМЭВ, они называются «Вид сведений» (ВС). Для каждого такого вида сведений формируется комплект документации, в состав которого входит *xsd*-схема, описывающая формат данных для блока запроса, а так же форматы и методы передачи данных в блоке вложений.

Для решения проблем затяжного ввода в эксплуатацию взаимодействий внутри региональной СМЭВ, предлагается использовать универсальный вид сведений (рис. 2).

Предлагается использовать определенный перечень полей для передачи в блоке данных запроса. Поскольку взаимодействие предполагается универсальным, необходимо различать запрос какого типа будет отправлен. Для этого будут использоваться обязательные элементы *ServiceName* (Наименование взаимодействия) и *ServiceCode* (Код взаимодействия). Так как один и тот же вид сведений будут использовать несколько информационных систем, то в запросе будут

присутствовать обязательные элементы *ConsumerCode* (Код ИС – отправителя запроса) и *ProducerCode* (Код ИС – отправителя ответа на запрос). В системе СМЭВ есть несколько видов маршрутизации отправителя и

получателя запроса, то есть определения системы, в которую необходимо отправить запрос. Чаще всего для передачи данных по видам сведений используется фиксированная маршрутизация (рис. 3).

Конверт СМЭВ3

//SenderProvidedRequestData (Блок данных запроса)

```

<Request>
<Name>Ivan</ns1:orderId>
<Surname>Ivanov</ns1:Department>
<Patronymic>Ivanovich</ns1:ServiceCode>
</Request>
                    
```

//AttachmentContentList (Блок содержимого вложений)

```

<AttachmentContent>
<Id>SignedContent.zip</Id>
<Content>UEsDBBQACAIAIGOxUVQAAAAAAAAAAAAAAAAAAmAAAA
bXN0clVuaXZlcn</Content>
</AttachmentContent>
                    
```

//CallerInformationSystemSignature (Электронная подпись)

```

<ds:Signature>
<ds:DigestMethod
Algorithm="urn:ietf:params:xml:ns:cpxmlsec:algorithms:gostr3411
2012-256"/>
<ds:SignatureValue>x4HPqgg9J34+YLaTgyMPswnkUTARGPVeI9IrZ
Owwg56UMoDx98CSig2oEwWqhZCPmKz84fC+7RpoQ5UEEJCJWxg=
=</ds:SignatureValue>
</ds:Signature>
                    
```

Формат блока определяется xsd-схемой, входящей в Вид сведения

Рисунок 1 – Схема конверта СМЭВ3 для межведомственного взаимодействия

```

<xs:complexType name="FomData Type">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>Передача заявления или запроса на отмену заявления или текстового сообщения от заявителя в ведомство</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  <xs:sequence>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="ServiceName" type="tns:string-500">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>Наименование взаимодействия</xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:element>
      <xs:element name="ServiceCode" type="tns:string-500">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>Номер взаимодействия</xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:element>
      <xs:element name="ConsumerCode" type="tns:string-500">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>Код ИС-отправителя запроса</xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:element>
      <xs:element name="ProducerCode" type="tns:string-500">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>Код ИС-поставщика</xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:element>
      <xs:element name="Parameters" type="tns:ParametersType" minOccurs="0">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>Список параметров запроса</xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:element>
      <xs:element name="Comment" type="tns:string-500" minOccurs="0">
        <xs:annotation>
          <xs:documentation>Комментарий</xs:documentation>
        </xs:annotation>
      </xs:element>
    </xs:sequence>
    <xs:element name="Attachments" type="tns:AttachmentsType" minOccurs="0"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
    
```

Рисунок 2 – Часть xsd-схемы универсального вида сведений, отражающая основной блок элементов (фрагмент)



Рисунок 3 – Схема фиксированной маршрутизации

Элементы *ConsumerCode* и *ProducerCode*, входящие в состав универсального вида сведений позволяют производить взаимодействия в рамках табличной маршрутизации [1], то есть будет обеспечено взаимодействие не только между ИС являющейся собственником вида сведений, но и между другими системами, подключившимися к данному взаимодействию (рис. 4).

Так же в запросе предполагается наличие необязательного блока *Parameters*, в котором ИС по согласованию между собой смогут передавать перечень параметров и при этом не будет необходимости в регистрации нового вида сведений. Блок *Parameters* является комплексным элементом и состоит из множественного элемента *Param* (Параметр), состоящий в свою очередь из элементов *Name* (Наименование параметра) и *Value* (Значение/описание параметра). Пример сообщения, сформированного по формату

универсального вида сведений, приведен на рисунке 5.

В блоке *Attachments* описываются файлы, входящие в блок вложений *AttachmentContentList*. В блоке вложений могут передаваться как отдельные файлы, так и, например, *zip*-архивы. Файлы могут быть структурированными (*xml*), то есть иметь *xsd*-схему, описывающую данный файл, так и неструктурированными (*doc*, *pdf*, *txt* и др.). При этом передача структурированных файлов является еще одним вариантом обеспечения передачи информации между информационными системами, но их проверка на стороне СМЭВ не производится, в отличие от блока данных запроса. Это позволяет информационным системам обмениваться данными, формат которых согласован между ИС, но при этом не касаться процедуры регистрации / перерегистрации в СМЭВ.

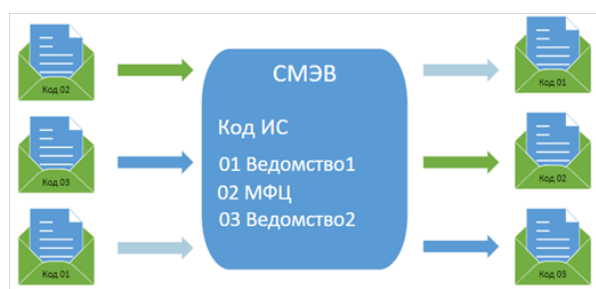


Рисунок 4 – Схема табличной маршрутизации

```
<ns:Request xmlns:ns="urn://x-artefacts-universalServiceMV/root/1.0.0" xmlns:ns1="urn://x-artefacts-universalServiceMV/commons/1.0.0">
  <ns1:ServiceName>Информационное взаимодействие с региональными ИС Министерства Сельского хозяйства</ns1:ServiceName>
  <ns1:ServiceCode>05265412</ns1:ServiceCode>
  <ns1:ConsumerCode>CODE1</ns1:ConsumerCode>
  <ns1:ProducerCode>CODE5</ns1:ProducerCode>
  <ns1:Parameters>
    <ns1:Param>
      <ns1:Name>Номер документа</ns1:Name>
      <ns1:Value>5565</ns1:Value>
    </ns1:Param>
    <ns1:Param>
      <ns1:Name>Дата документа</ns1:Name>
      <ns1:Value>20.02.2022</ns1:Value>
    </ns1:Param>
  </ns1:Parameters>
  <ns1:Comment>Текстовый комментарий</ns1:Comment>
  <ns1:Attachments>
    <ns1:Attachment>
      <ns1:IsUnstructuredFormat>false</ns1:IsUnstructuredFormat>
      <ns1:IsZippedPacket>true</ns1:IsZippedPacket>
      <ns1:CodeDocument>01</ns1:CodeDocument>
      <ns1:DocumentName>Документ</ns1:DocumentName>
      <ns1:FileName>file.zip</ns1:FileName>
      <ns1:OriginalFileName>document.pdf</ns1:OriginalFileName>
      <ns1:OriginalFileMimeType>application/pdf</ns1:OriginalFileMimeType>
    </ns1:Attachment>
  </ns1:Attachments>
</ns:Request>
```

Рисунок 5 – Пример сообщения, сформированного по формату универсального вида сведений

В блоке *Attachments* описываются файлы, входящие в блок вложений *AttachmentContentList*. В блоке вложений могут передаваться как отдельные файлы, так и, например, *zip*-архивы. Файлы могут быть структурированными (*xml*), то есть иметь *xsd*-схему, описывающую данный файл, так и неструктурированными (*doc*, *pdf*, *txt* и др.). При этом передача структурированных файлов является еще одним вариантом обеспечения передачи информации между информационными системами, но их проверка на стороне СМЭВ не производится, в отличие от блока данных запроса. Это позволяет информационным системам обмениваться данными, формат которых согласован между ИС, но при этом не касаться процедуры регистрации / перерегистрации в СМЭВ.

Заключение. Разработанный универсальный формат передачи данных для внутрирегионального обмена данными позволяет сократить время вывода в работу новых видов информации для передачи, снизить финансовые затраты на разработку документов и программного обеспечения, а так же упростить процедуру подключения различных информационных систем к получению данных. Используя данный формат, имеется возможность передачи различных видов информации в рамках одного типа взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Методические рекомендации по работе с ЕСМЭВ версия 3 5 0 8 28.04.2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://smev3.gosuslugi.ru/portal/> (дата обращения: 21.02.2022).
2. Постановление Правительства РФ от 08.09.2010 N 697 (ред. от 24.06.2021) "О единой системе межведомственного электронного взаимодействия" (вместе с "Положением о единой системе межведомственного электронного взаимодействия")
3. Гумерова, Г. И. Электронное правительство : учебник для вузов / Г. И. Гумерова, Э. Ш. Шаймиева. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 165 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13602-9. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/497519> (дата обращения: 21.02.2022).
4. Государственная система правовой информации: офиц. интернет-портал правовой информации. URL: <http://www.pravo.gov.ru>. (дата обращения: 21.02.2022).
5. Единый портал государственных и муниципальных услуг. URL: gosuslugi.ru. (дата обращения: 21.02.2022).
6. Информационно-аналитическая система мониторинга качества государственных и муниципальных услуг : [офиц. сайт]. — URL: <https://vashkontrol.ru>. (дата обращения: 21.02.2022).
7. Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: [офиц. сайт]. — URL: <http://minsvyaz.ru>. (дата обращения: 21.02.2022).
8. Совершенствование государственного управления: [портал административной реформы]. — URL: <http://www.admreforma.ru>. (дата обращения: 21.02.2022).
9. Мицкевич Л.А. Представление публичных услуг как вид государственного управления // Публичные услуги: правовое регулирование (российский и зарубежный опыт). М. : Волстер Клувер, 2007. 461 с.
10. Осташков А.В., Неделько С.И., Матюкин С.В. Мониторинг в системе оказания государственных и муниципальных услуг как инструмент реализации стратегии повышения качества государственного и муниципального управления. М. : Изд-во Экслибрис Пресс. 2008. 392 с.
11. Костина С.Н. Организация предоставления государственных и муниципальных услуг : учеб. пособие / С.Н. Костина, Г.А. Банных, Л.И. Воронина ; [под общ. ред. С.Н.

Костиной] ; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019.— 123 с. [Электронный ресурс] — URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/78091/1/978-5-7996-2668-6_2019.pdf (дата обращения: 23.02.2022).

12. Пономарева Т.А., Супрягина М.С. Качество услуг: качественные параметры оценки [Электронный ресурс] // Маркетинг в России и за рубежом. 2005. № 1. — URL: <http://www.mavriz.ru/articles/2005/1/3539.html> (дата обращения: 23.02.2022).

Статья поступила в редакцию 28.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 004.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0005

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ИНТЕРНЕТ-ЦЕНТРА ВУЗА

© 2022

Мартышкин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Программирование»

*Пензенский государственный технологический университет
(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы построения вычислительного кластера центра обработки данных. Современные серверы характеризуются большими мощностями, но не всегда используют максимум своих вычислительных ресурсов и для решения конкретных задач распределение нагрузки приложениями происходит неравномерно. Объектом рассмотрения и анализа настоящей статьи является вычислительный кластер центра обработки данных ВУЗа. Цель работы – решение инженерной задачи по проектированию вычислительного кластера, позволяющего настроить имеющиеся вычислительные мощности под конкретное приложение. На основе известного подхода и известных ресурсов была спроектирована система управления виртуальными машинами. В ходе проектирования предложен и на основе продуктов *VMware* непосредственно реализован вычислительный кластер центра обработки данных ВУЗа. Установлено, что на платформе *vSphere* можно построить два вида кластеров: *HA* и *DRS*, работающих на уровне виртуальной машины. Приведены возможные варианты построения и реализации гипервизоров. Определены задачи, выполняемые кластером. Обоснован выбор архитектуры и средств технической реализации вычислительного кластера. Эффективность предлагаемого в статье решения заключается в упрощении управления серверами, повышении отказоустойчивости вычислительного кластера центра обработки данных, снижении времени, необходимого на обслуживание технических ресурсов. Основные возможности предлагаемого кластера: миграция виртуальных машин между гипервизорами; разделение сетевого уровня доступа; обеспечение необходимого уровня безопасности и надежности. В заключение приведены основные результаты и выводы по работе.

Ключевые слова: программное обеспечение, вычислительный кластер, интернет, виртуализация, гипервизор, датацентр.

A VARIANT OF THE IMPLEMENTATION OF COMPUTING CLUSTER OF THE DATA PROCESSING CENTER ON EXAMPLE OF AN INTERNET CENTER OF THE UNIVERSITY

© 2022

Martyshkin Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent,
head of sub-department «Programming»

*Penza state technological University
(440039, Russia, Penza, Baydukov Proyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)*

Abstract. The article discusses the issues of building a computing cluster of a data processing center. Modern servers are characterized by large capacities, but they do not always use the maximum of their computing resources and for solving specific tasks, the load distribution of applications is uneven. The object of consideration and analysis of this article is the computing cluster of the data processing center of the University. The purpose of the work is to solve the engineering problem of designing a computing cluster that allows you to configure the available computing power for a specific application. Based on a well-known approach and well-known resources, a virtual machine management system was designed. During the design, a computing cluster of the University's data processing center was proposed and directly implemented on the basis of *VMware* products. It is established that two types of clusters can be built on the *vSphere* platform: *HA* and *DRS*, working at the virtual machine level. Possible options for building and implementing hypervisors are given. The tasks performed by the cluster are defined. The choice of architecture and means of technical implementation of the computing cluster is justified. The effectiveness of the solution proposed in the article is to simplify server management, increase the fault tolerance of the computing cluster of the data processing center, and reduce the time required for maintenance of technical resources. The main features of the proposed cluster are: migration of virtual machines between hypervisors; separation of the network access layer; ensuring the necessary level of security and reliability. In conclusion, the main results and conclusions of the work are presented.

Keywords: software, computing cluster, internet, virtualization, hypervisor, data center.

Введение. Актуальность проводимой работы состоит в том, что сегодня серверы обладают колоссальными мощностями, однако не всегда используются на пике своих возможностей и для решения своего круга задач распределение нагрузки приложениями происходит неравномерно. Также в пике нагрузки вы-

сокопроизводительных вычислений сложно масштабировать вертикально, то есть наращивать мощности по мере необходимости. Гибкий инструмент в таких ситуациях – применение технологии виртуализации – набора вычислительных ресурсов или их логического объединения, абстрагирование от аппаратной

реализации, и обеспечивающего при этом логическую изоляцию друг от друга вычислительных процессов, выполняемых на одном физическом ресурсе.

Цель работы – проектирование виртуальной распределенной системы, позволяющей настроить имеющиеся вычислительные мощности под конкретное приложение. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: провести обзор исследуемых вопросов; выбрать базовую архитектуру; предложить прототип разрабатываемой системы; провести экспериментальную проверку предложенной модели.

Термин «виртуализация» в разных литературных источниках толкуется по-разному [1]. В контексте этой работы под виртуализацией мы подразумеваем инструменты и подходы, позволяющие отойти от традиционной аппаратной основы системы. При использовании технологии виртуализации развертывание и настройка нового окружения занимает меньше времени, чем в системах без виртуализации [2, 3].

Материалы и результаты исследования. *Особенности построения кластеров.* Определим, что такое

кластер. В контексте настоящей статьи кластер – группа физических серверов, связанных между собой сетью, управляемых единым сервисом и совместно выполняющих определенные функции, как единое целое [4, 5].

Технология виртуализации известна и активно применяется более 30 лет. В настоящее время виртуализация – ключевая технология ИТ и ее можно назвать основой сервисов нового поколения. Известно множество продуктов виртуализации со своими достоинствами и недостатками. Конкретный продукт виртуализации необходимо выбирать, прежде всего, отталкиваясь от потребностей: в различных ситуациях приемлемым будет конкретный продукт. Сегодня известно два типа гипервизоров, работающих на уровне виртуальной машины (ВМ) [6, 7] и [8, 9], среди которых гипервизоры первого типа (рис. 1, а) активизируются и функционируют непосредственно на «железе», при этом не нужна установка ОС. Гипервизорам второго типа (рис. 1, б) для функционирования требуется ОС, через которую производится доступ к аппаратной части.

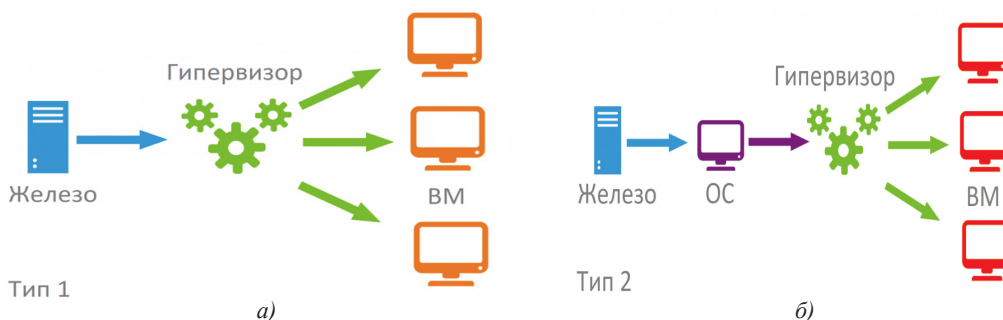


Рисунок 1 – Структура и принцип работы гипервизоров 1-го типа (а) и 2-го типа (б)

К гипервизорам 1-го типа относятся *Hyper-V* [10], *KVM* [11], *ESXi* [12]. К гипервизорам 2-го типа относятся *VMware Workstation*, *Oracle Virtual Box*, *OpenVZ* [13]. В контексте проводимой работы нам интересны системы виртуализации первого типа, т.к. остальные больше удовлетворяют потребности индивидуального применения для решения частных задач, чем для решения задач крупных предприятий и организаций [14, 15].

Задачи, выполняемые кластером. Под задачами для кластера виртуализации понимаются задачи интернет-центра ВУЗа, а именно:

- запуск ВМ (большинство *web*-ориентированных проектов);
- запуск серверов баз данных, включая программные кластерные решения;
- балансировка нагрузки однотипных ВМ;
- живая миграция между хостами виртуализации, для решения проблем, связанных с перерасходом ресурсов и обеспечением отказоустойчивости;
- разграничение сетевого уровня доступа как по подсетям, так и по *VLAN*;
- разграничение прав доступа при администрировании кластера;
- обеспечение удаленного доступа с минималь-

ным количеством программного обеспечения для администрирования.

Выбор архитектуры и средств технической реализации вычислительного кластера обуславливается многими факторами, в том числе и потребностями под конкретные задачи. Стоит отметить, что основными факторами являются требования программных продуктов, обслуживающих кластерное решение. Кластер состоит из 3 серверов *Supermicro*, подключенных к сети, и в той же сети находится программный комплекс управления *VMware VCenter*, а также системы хранения данных (СХД), реализация которых выбрана, исходя из соображений бюджета на обслуживание, таким стала реализация на базе СХД *Qnap iSCSI*. Данное решение имеет большие накладные расходы на сетевом уровне, связанные с многоуровневой инкапсуляцией данных [16].

Применение общего хранилища и независимость ВМ от физической дает высокие показатели доступности, когда достигается быстрое перемещение/восстановление ВМ между серверами кластера. Также для обеспечения процесса перемещение/восстановления создана отдельная сеть, чтобы не затрагивать работу других ВМ. Для реализации сети выбраны коммутаторы *Dlink*, зарекомендовавшие себя как недорогие и

стабильные решения для построения разномасштабных сетей.

Для внутри гипервизорного взаимодействия используется *Standard Switch* [17, 18], основанный на технологии *Open vSwitch* и показывающий неплохие показатели по стабильности и полосе пропускания. Одной стороной данный «виртуальный» свитч привязывается к *vNIC*, существующему адаптеру сервера, тем самым позволяет создавать сети достаточной сложности. Из поддерживаемых возможностей стоит отметить: поддержка *VLAN*; поддержка балансировки нагрузки (*Teaming, dynamic route*); поддержка больших форматов пакета (*Jumbo Frames*). Этого достаточно для большинства задач. Настройка программной среды вычислительного кластера сводится к настройке нескольких отдельных компонентов: управляющего ядра; гипервизора *ESXi*; *vCenter Server*; СХД; сетей.

vCenter Server – главный инструмент для администрирования кластера, который дает возможность конфигурировать *ESXi* гипервизоры и т.п. [19]. В качестве подсистемы хранения данных выбрано решение на *iSCSI*, позволяющее строить крупное сетевое хранилище. Особенность *iSCSI* – представление ВМ, диска (*LUN*) целиком [20, 21], что позволяет строить кластеры из нескольких ВМ. Объем *LUN* выбран равным 2Тб.

Планирование ресурсов ВМ занимает значимое место в работе кластера и это достаточно наукоемкая задача. Для этого существуют программные решения. Однако существует и более простой подход. ВМ на-

значаются приблизительно те же ресурсы что и у нее и были в процессе эксплуатации на обычном сервере, в любом случае мы сможем изменить или динамически предоставить ресурсы. Средства защиты от сетевых атак на гипервизоре реализуются при помощи *firewall* [22, 23]. Данный метод требуется когда гипервизор имеет выход в сеть с общим доступом, обычно гипервизоры не имеют данного доступа.

Реализация и тестирование вычислительного кластера. Основные характеристики вычислительного кластера: 3 гипервизора на базе *VMware ESXi*; система хранения данных объемом 10Тб *QNAP TS-809U*; серверы *Supermicro SYS-6017R-TDF (2X CPU E5-2609, 64GB RAM)*. Объектом тестирования служит кластер с характеристиками, представленными ниже. Ресурсы *CPU 28880 MHz*, из них в резерве *16432 MHz*, используется в данный момент *12448 MHz*. Ресурсы *RAM 56819 MB*, использовано *29076 MB*, из них в резерве *27743 MB*.

На рисунке 2 показано распределение дисковых ресурсов в кластере.

ВМ кластера разнообразного назначения, покрывающие весь список задач интернет-центра, не имеют жестких ограничений ни по *CPU* ни по *RAM* ресурсам. В качестве тестовых задач выбрана программа *ab (Apache benchmark)* [24, 25]. Ниже приведены фрагменты скриптов, используемых при подготовке к тестированию, которые будут полезны разработчикам при проведении аналогичных работ по установке и настройке серверов и ВМ.

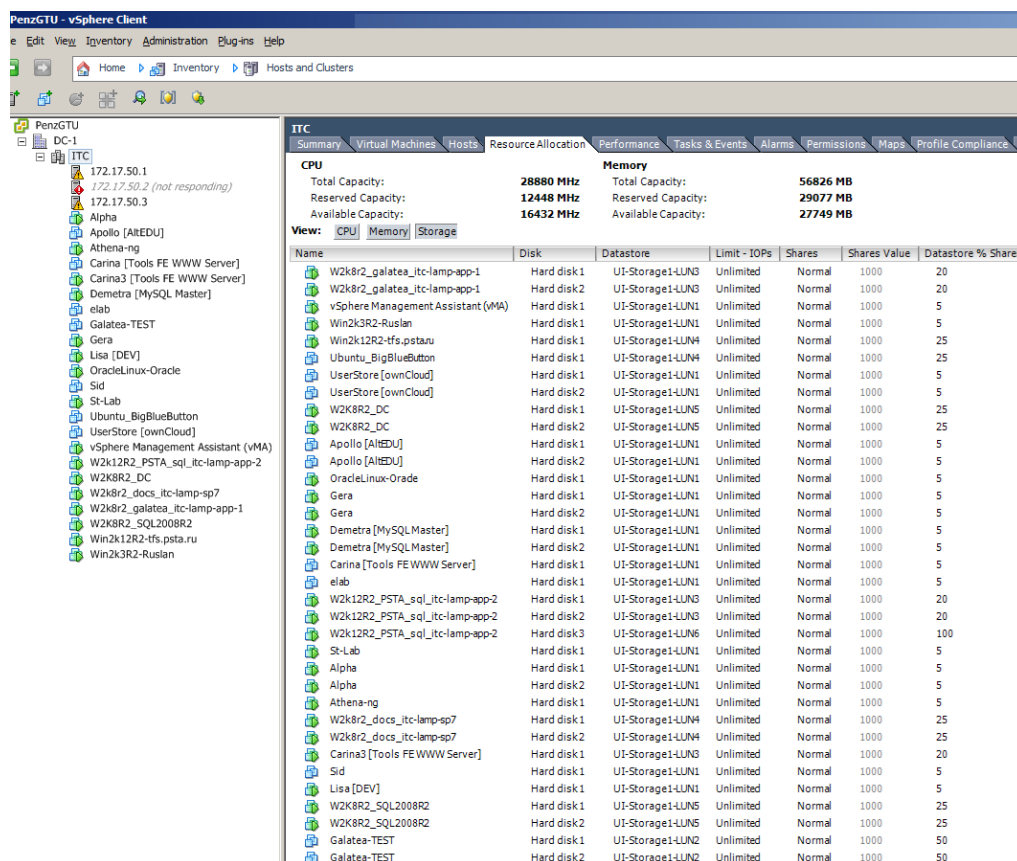


Рисунок 2 – Распределение дисковых ресурсов кластера гипервизор

Скрипт установки nginx на Centos linux посредством ansible

```
- name: Install Nginx Repository
  command: rpm -Uivh --replacepkgs {{nginx_repository}}
  yum: name=nginx state=latest
  command: systemctl enable nginx.service
- name: Create Folder for default source
  file: path=/srv/www/default state=directory owner=nginx group=nobody mode=0644
- name: Copy index file for default folder
  copy: src=index.php.j2 dest=/srv/www/default/index.php owner=nginx group=nginx
mode=0644
- name: Be sure nginx is running and enable
  service: name=nginx state=running enabled=true
- name: Be sure firewalld is running and enable
  service: name=firewalld state=running enabled=true
- name: Change filter on firewalld.service
  command: firewall-cmd --permanent --zone=public --add-service=http
  command: firewall-cmd --permanent --zone=public --add-service=https
- name: Restart firewalld
  command: systemctl restart firewalld.service
```

Скрипт установки percona на Centos linux посредством ansible

```
- name: Install Percona Repository
  yum: name={{ percona_repository }}
- name: Install Percona Database
  yum: name={{ item }} state=present
  with_items:
  - Percona-Server-shared-55
  - Percona-Server-server-55
  - Percona-Server-client-55
  - MySQL-python
- name: Load default Mysql configuration file
  template: src=my.cnf.j2 dest=/etc/my.cnf
- name: Automatic load when boot
  command: systemctl enable mysqld.service
- name: Be sure mysqld is running and enable
  service: name=mysqld state=running enabled=true
- name: Update mysql root password
  mysql_user: name=root host={{ item }} password={{root_db_password}}
  ignore_errors: True
  with_items:
  - 127.0.0.1
  - ::1
  - localhost
  notify:
  - Restart mysqld.service
- name: Remove anonymous users
  mysql_user: name='' host={{ item }} login_user={{root_db_user}} login_password={{root_
db_password}} state=absent
  with_items:
  mysql_db: name=test login_user={{root_db_user}} login_password={{root_db_password}}
state=absent
  notify:
  - Restart mysqld.service
```

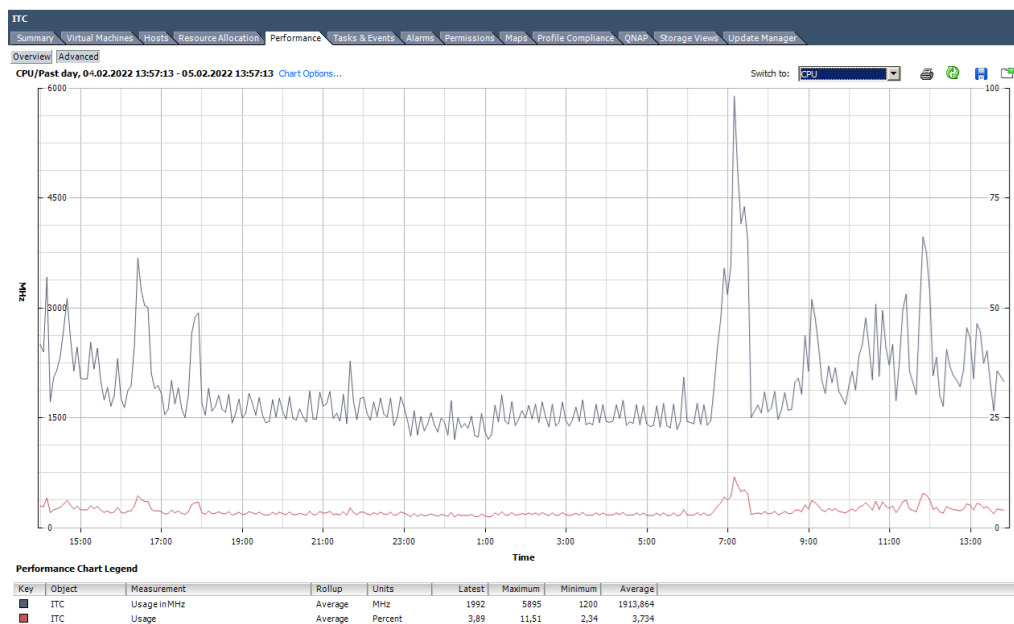
Тестирование проводилось в 10 потоков по 100 запросов на сервер, в тот же момент проводился анализ потребления кластером CPU и RAM ресурсов. Ни один из запросов не возвратил ошибочный статус, таким образом, задачи считаются выполненными успешно, а данную реализацию кластера эффективной.

Результаты проведенных экспериментов. В процессе тестирования предлагаемого решения не было замечено повышение расхода ресурсов, а это значит, что нагрузочным тестам хватило распределенных ресурсов.

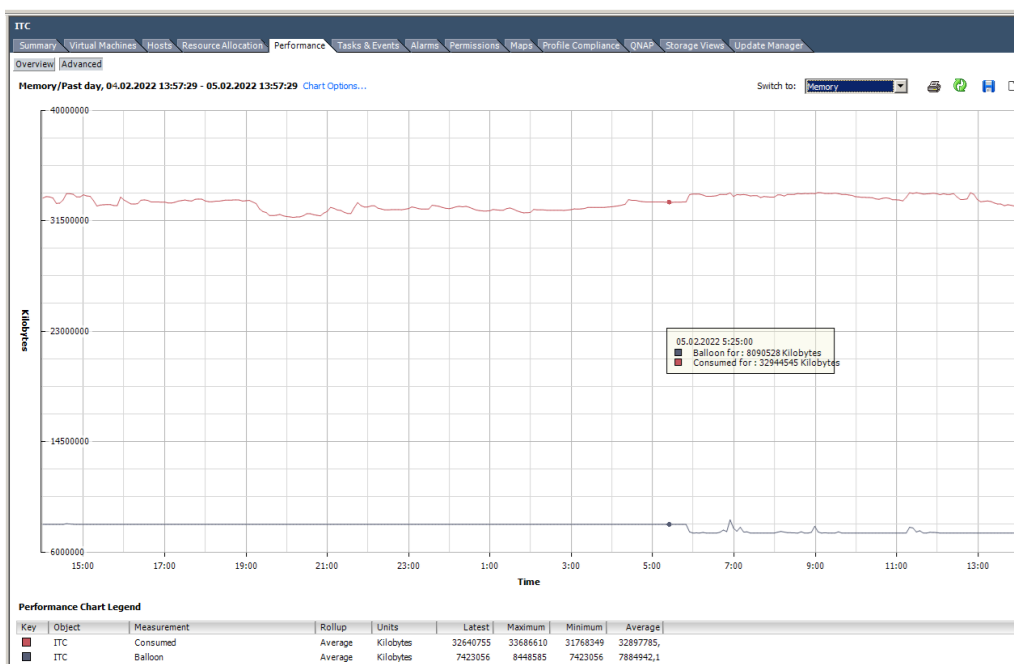
На рисунке 3, а приведен график потребления ресурсов CPU в период с 13:57:13 04.02.2022 по 13:57:13 05.02.2022. Из графика видим максимальный всплеск загрузки CPU в районе 07:00 05.02.2022, который приближался к 100%. В остальном же, средняя нагрузка держалась на уровне примерно 35% (1913, 864 МГц) от максимально возможной. На рисунке 3,б

приведен график потребления ресурсов RAM в период с 13:57:13 04.02.2022 по 13:57:13 05.02.2022. Из графика видим довольно усредненное потребление памяти на всем времени тестирования: отсутствуют какие-либо всплески и выбросы на графике. Это может свидетельствовать о равномерном использовании вычислительных ресурсов в течение всего периода тестирования. В этот период обработке подвергаются задачи средней ресурсоемкости.

Подводя итоги вышенаписанного, можно предположить, что эффективность предлагаемого и описываемого в статье решения с применением и настройкой вычислительного кластера, работающего на уровне виртуальной машины, заключается в упрощении управления большим количеством серверов, повышении отказоустойчивости вычислительного кластера центра обработки данных, а также снижении времени, затрачиваемого на обслуживание технических ресурсов [26].



а)



б)

Рисунок 3 – График потребления ресурсов CPU (а) и RAM (б)

Заключение. В ходе проектирования получена полнофункциональная распределенная вычислительная среда – кластер на базе продуктов VMware, полностью готовый к применению. Возможности полученного кластера: миграция виртуальных машин между гипервизорами; разделение сетевого уровня доступа; обеспечение необходимого уровня безопасности и надежности.

Эффективность предлагаемого решения заключается в упрощении управления большим количеством серверов, повышении отказоустойчивости вычислительного кластера центра обработки данных, снижении времени, затрачиваемого на обслуживание технических ресурсов.

Дальнейшее развитие представленной в статье темы состоит в изучении вопросов интеграции с Openstack, использование контейнеров для уменьшения расходов ресурсов кластера, а также изучение вопроса checkpoint/restore в момент миграции виртуальных машин. Поставленная в статье цель достигнута и все сформулированные задачи решены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. – СПб.: Питер, 2013 – 816 с.
2. Терешкин Д.О., Мартышкин А.И. Обзор применения технологий виртуализации для консолидации серверов // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей XIX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 60-летию

первого полета в космос Юрия Алексеевича Гагарина. Под редакцией И.И. Сальникова. Пенза, 2021. – С. 93-97.

3. Russell, J. Timeline of virtualization development. – М.: Москва, 2013. – 124 с.

4. Olzak, T. Microsoft Virtualization: Master Microsoft Server, Desktop, Application, and Presentation Virtualization. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 213 с.

5. Bagikni, T. Developing an Autonomic System Engineering Testbed: Virtualization of Operating Systems. NY.: Foreign book, 2009. 108 p.

6. Haletky, E. VMware ESX Server in the Enterprise: Planning and Securing Virtualization Servers. NY.: Prentice Hall Ptr, 2008. 223 p.

7. Lowe, S. Mastering VMWare vSphere 5. Hoboken: Sybex, 2013. 840 p.

8. Pedro S. VMware™ hypervisor fingerprinting. Kindle Edition, 2014. 216 p.

9. Лэнгоун, Д. Виртуализация настольных компьютеров с помощью VMware View 5. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 280 с.

10. Humble Devassy Chirammal, Prasad Mukhedkar, Anil Vettathu Mastering KVM Virtualization. Packt Publishing, 2016 424 p.

11. Kevin Elder, Christopher Kusek, Prasenjit Sarkar. VSphere High Performance Cookbook Packt Publishing, 2017. 338 p.

12. Carl, A. Waldspurger Memory Resource Management in VMware ESX Server. NY.: ACM, 2002. 181 p.

13. Abhilash G B, Cedric Rajendran. VMware vSphere 6.5 cookbook. Packt Publishing, 2018, p.539.

14. Водолазкина Н.А. Перспективы использования технологий виртуализации // Инновационная наука. – 2015. – Т. 2. – № 6 (6). – С. 45-48.

15. Коптева Л.Г. Вопросы применения методов виртуализации в IT-области // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. Москва, 2021. С. 375-381.

16. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2015. – 1120 с.

17. Андреев А.В. Использование программного коммутатора Open VSwitch в задачах разделения трафика виртуальных машин // Информационное пространство в аспекте гуманитарных и технических наук – 2016: Материалы V междисциплинарной межвузовской конференции студентов, магистрантов и аспирантов. 2016. – С. 53-54.

18. Ryabokon' V.V., Kuz'kin A.A., Kutsakin M.A., Bahtin D.A. Analyzing the functionality and structure of the virtual switch open vswitch // Modern informatization problems in simulation and social technologies (MIP-2022/SCT). Proceedings of the XXVII-th International Open Science Conference. Yelm, 2022. pp. 157-161.

19. Гипервизор VMware ESXi [Электронный ресурс] URL: <http://itsave.ru/esxi/> (дата обращения: 29.01.2022).

20. Лукьянов А.С., Спицин В.С. Сеть хранения данных с применением протокола ISCSI // Охрана, безопасность, связь. – 2019. – № 4-2 (4). – С. 34-39.

21. Болдин С. Расширенная работа с хранилищами в Windows Server 2019 // Системный администратор. – 2020. – № 1-2 (206-207). – С. 16-22.

22. Захарова Ю.Ф., Кочнева А.А. Вопросы защиты информации при использовании технологий виртуализации // Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем: материалы XV Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов. Пенза, 2021. – С. 183-186.

23. Стасьев Д.О. Контроль целостности образов виртуальных машин на платформе Openstack // Вопросы защиты информации. – 2021. – № 3 (134). – С. 19-26.

24. Lingayat A., Badre R.R., Gupta A.K. Performance evaluation for deploying docker containers on baremetal and virtual machine // Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES-2018. 3. pp. 1019-1023.

25. AB (Apache Benchmark) – тест производительности сервера – Debian Help [Электронный ресурс] URL: <https://debian-help.ru/web-servers/ab-apache-benchmark-test-proizvoditelnosti-servera> (дата обращения 29.01.2022).

26. Edward L. Haletky. VMware vSphere and Virtual Infrastructure Security: Securing the Virtual Environment 3rd Edition / Edward Haletky, pbk.: alk. paper 2015. 522 p.

Статья публикуется при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам на 2022-2024 гг. (СП-284.2022.5).

Статья поступила в редакцию 28.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 004.75

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0006

ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА УНИВЕРСИТЕТА: МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ГИБРИДНОГО ОБУЧЕНИЯ

©2022

Амбросенко Николай Дмитриевич, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Информационные технологии и математическое обеспечение информационных систем»

Ковалев Игорь Владимирович, доктор технических наук,

профессор кафедры «Информационные технологии и математическое обеспечение информационных систем»

Скуратова Ольга Николаевна, инженер-программист

Красноярский государственный аграрный университет

(660049, Россия, г. Красноярск, проспект Мира, 90

e-mails: nikolai.ambrosenko@yandex.ru, kovalev.fsu@mail.ru, ollga_a@mail.ru)

Аннотация. Пандемия привела к массовому использованию информационных коммуникационных технологий и онлайн-обучения. Последние полтора года ускорили применение дистанционных образовательных технологий и стимулировали новые эксперименты. В статье уделено внимание опыту организации и сопровождения образовательного процесса в ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», имевшемуся к началу локдауна и переходу на удаленный режим обучения. Описаны проблемы, с которыми столкнулся университет после выхода из локдауна. Такие как: проблема организация образовательного процесса с использованием синхронных и асинхронных моделей обучения, новых цифровых инструментов и сервисов взаимодействия преподавателя с обучающимися, предполагающие равные условия для очных и для онлайн участников образовательного процесса. В статье рассматривается оптимизированная модель гибридного обучения с использованием технических средств и цифровых инструментов образовательной среды университета, исходя из ограничений по бюджету, сформированных на основе целевого финансирования направления развития цифровой образовательной среды университета на текущий период. Анализируются полученные экспериментальные данные выполнения тестовых заданий группами обучающихся за три последних года с использованием различных моделей обучения, возможности определения уместных в конкретной ситуации технологий, цифровых инструментов и сервисов мобильного обучения, доступных в цифровой образовательной среде университета, используемых преподавателем с учетом его экспертного опыта.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда, смешанное обучение, модель организации гибридного обучения, цифровые инструменты, мобильные устройства, удаленный режим обучения.

DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY: HYBRID LEARNING ORGANIZATION MODEL

©2022

Ambrosenko Nikolai Dmitrievich, candidate of technical sciences,

docent of the department "Information technology and mathematical support of information systems"

Kovalev Igor Vladimirovich, doctor of technical sciences,

professor of the department "Information technology and mathematical support of information systems"

Skuratova Olga Nikolaevna, software engineer

Krasnoyarsk State Agrarian University

(660049, Russia, Krasnoyarsk, Mira Avenue 90

e-mails: nikolai.ambrosenko@yandex.ru, kovalev.fsu@mail.ru, ollga_a@mail.ru)

Abstract. The pandemic has led to the massive use of information communication technologies and online learning. The last year and a half has accelerated the application of distance education technologies and stimulated new experiments. The article focuses on the experience of organizing and supporting the educational process in the FSBEI HE "Krasnoyarsk State Agrarian University", which was available at the beginning of the lockdown and the transition to remote learning mode. The challenges the university has faced since leaving lockdown are described. Such as: the problem of organizing the educational process using synchronous and asynchronous learning models, new digital tools and teacher-student interaction services that imply equal conditions for full-time and online participants in the educational process. The article discusses an optimized model of hybrid learning using technical means and digital tools of the university's educational environment, based on budget constraints formed on the basis of target financing for the direction of development of the digital educational environment of the university for the current period. The obtained experimental data on the performance of test tasks by groups of students over the past three years are analyzed using various learning models. The possibilities to determine relevant technologies in specific situations, the digital tools and mobile learning services available in the digital educational environment of the university, used by the teacher taking into account his expert experience, are also analyzed.

Keywords: digital educational environment, blended learning, model of organization of hybrid learning, digital tools, mobile devices, remote learning mode.

Введение. Важным фактором прогресса в любой сфере общества является эффективность использования современных средств информационных и коммуникационных технологий. Наряду с развитием экономики, медицины, политики модернизируется и система образования, к которой в полной мере направлен запрос общества на применение новых моделей обучения, выводящих ее на более высокий уровень развития [1-3].

Во время локдауна весной 2020 года все участники образовательного процесса вынужденно перешли на удаленный режим работы [4, 5]. К этому времени в университете имелся трехлетний опыт проведения занятий с обучающимися региональных центров дистанционных образовательных технологий (рис. 1).

Модель организации обучения предполагала в основном использование двух инструментов: система проведения вебинаров и видеоконференций *Mirapolis VR* и система электронно-дистанционного обучения на платформе *LMS Moodle*, на которой размещались электронные учебные курсы поддержки процесса обучения [6, 7]. Для поддержки информационной структуры используется центр обработки и хранения данных, имеющий в своем составе:

- серверную стойку с лезвийными шасси (*IBM Blade Chassis H*);
- 12 блейд-серверов двух типов (*IBM Blade Center HS22V* и *HX5*);
- дисковую систему хранения данных (*IBM Storwize V7000 Storage System*);
- источник бесперебойного питания (*IBM 11000VA*2 LCD 5URackUPS*).

Единая система управления и мониторинга серверной подсистемы управляется с единого интерфейса. Реализована трехуровневая структура компьютерной сети, позволяющая повысить надежность и управляемость сети, внедрить механизмы мониторинга сети, обнаружения и предотвращения зловредных атак:

- уровень магистрали сети (коммутаторы *Catalyst 6500*);
- уровень дистрибуции в корпусах университета (коммутаторы третьего уровня *Catalyst 3650E* или *HP Pro Curve Switch 2900-48G*);
- уровень доступа (коммутаторы *Catalyst 2960* или *AT-GS900/24*).

Это позволило обеспечить бесперебойную работу цифровой образовательной среды университета в период массового перехода обучения в удаленный формат.

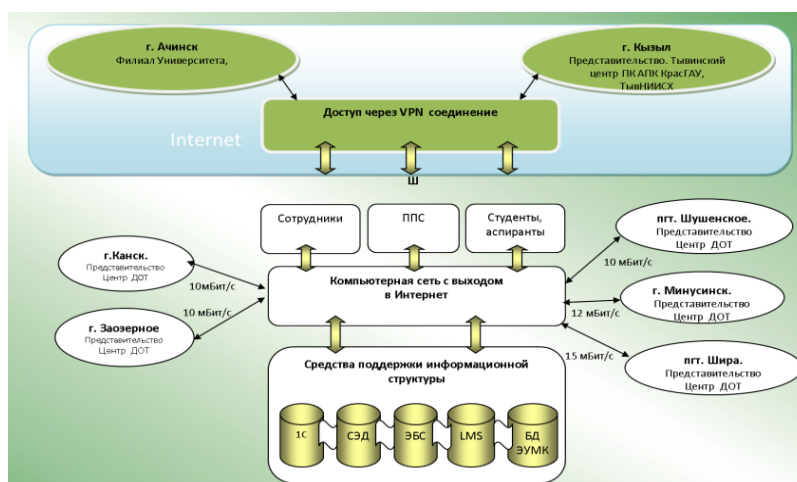


Рисунок 1 – Цифровая образовательная среда университета

Совершенствование современной системы образования направлено на поиск инновационных подходов, позволяющих сделать обучение более динамичным и соответствующим запросам его получателей. В настоящее время активно развиваются системы электронного обучения, основанные на преимущественном применении современных информационных и коммуникационных технологий для формирования среды обучения, стирающие границы между очным и онлайн обучением, между университетом и аудиторией вне университета [8-12].

Дистанционные образовательные технологии в образовательном процессе используются уже несколько десятилетий [1-3]. Ряд работ посвящен опыту построения и использования образовательной среды, проблеме вынужденного перехода на удаленный режим обучения в условиях пандемии [4-7]. Внедрение новых моделей обучения с использованием широкого

спектра технических средств, цифровых инструментов и сервисов рассматривается в работах [8-12]. В ряде работ представлено изучение опыта применения модели гибридного обучения в образовательной среде университетов с целью формирования компетенций обучающихся [14-16]. Однако, анализа возможности выбора уместных в конкретной ситуации технологий, цифровых инструментов и сервисов мобильного обучения, их сочетаний с фокусом на цели и возможности применения цифровых инструментов в учебном процессе в работах авторов не предпринималось.

После выхода системы образования из локдауна стало понятно, что возвращение к прежней модели обучения не будет. Академические группы периодически переводятся на карантин, и с ними занятия необходимо проводить удаленно. Если с практическими и лабораторными занятиями модель обучения отработана, то с лекционными занятиями возникает ситуация,

когда у преподавателя часть потока занимается очно, а с другой частью надо проводить занятия онлайн, причем в одно и то же время.

Модели смешанного обучения, творческого и перевернутого класса предполагают один и тот же формат, когда занятия проводятся или очно или удаленно, имеется синхронизация участников образовательного процесса во времени и месторасположении [17]. Эти модели обладают значительными достоинствами по сравнению с онлайн обучением, но при реализации этих моделей присутствует ряд недостатков и рисков:

- снижение важности дисциплины учебного плана, переведенной на онлайн, по мнению обучающихся, снижение мотивации изучения;
- снижение темпа и качества обучения из-за низкого уровня самоорганизации некоторых обучающихся.

Целью данного исследования является оптимизация модели организации гибридного обучения в цифровой образовательной среде (ЦОС) университета на основе проведенного анализа возможности определения уместных в конкретной ситуации технологий, цифровых инструментов и сервисов мобильного обучения, их сочетаний с фокусом на цели и возможности применения цифровых инструментов в учебном процессе, что устанавливает единую структуру цифровой и профессиональной компетенции, основанной на формуле образовательного результата **ДЕЙСТВИЕ–ОБЪЕКТ–КОНТЕКСТ**.

Материалы и результаты исследования. Рассматривая модель гибридного обучения, отметим ее главное отличие от других моделей, которое заключается в параллельном и бесшовном сочетании онлайн-обучения с очным [18].

Для гибридного обучения важно техническое оснащение аудитории, которое позволяет обеспечить хорошую слышимость и видимость для всех участников. Надо учесть масштаб внедрения и объем располагаемого бюджета. Минимальный вариант технического оснащения включает в себя следующее: мультимедийная аудитория, внешняя *USB*-камера на штативе для съемки преподавателя, смартфон преподавателя с беспроводными наушниками.

В гибридном формате преподаватель функционирует в двух средах: в физической аудитории и виртуальном цифровом учебном пространстве [19]. Одному преподавателю сложно уследить за двумя аудитория-

ми, надо знать, сколько человек присутствует в аудитории, а сколько в течение всей лекции присутствует в онлайн, как обучающиеся осваивают лекционный материал, контролировать степень их вовлеченности и уровень освоения образовательного контента.

Предлагаемая модель гибридного обучения включает:

- систему видеоконференцсвязи (*Zoom* или *MS Teams*). Перед началом аудиторного занятия онлайн обучающиеся подключаются к системе ВКС. Также это используется преподавателем для контроля посещаемости. Экран монитора компьютера преподавателя клонируется на большой экран мультимедийной аудитории, и в дальнейшем все демонстрационные материалы транслируются через показ рабочего стола преподавателя. Звук и изображение преподавателя передается онлайн аудитории через внешнюю *USB*-камеру;
- набор цифровых инструментов и сервисов мобильного обучения (*Mentimeter*, *AhaSlides*, *Google Jamboard*, *Data Gif Maker*, *Lucid Char*, *Spatial Chat*, *Canva*), который используется преподавателем с учетом его экспертного опыта, дает возможность отслеживать в режиме реального времени уровень вовлеченности студентов в процентном соотношении количества участников голосования к количеству присутствующих на занятии и степени освоения учебного материала (определяется по количеству правильных ответов), а также присутствие обучающегося во время проведения экспресс-опроса. Использование подобных цифровых инструментов предполагает, что обучающиеся будут использовать личные мобильные устройства.

На рисунке 2 показана экранная форма, преимущественно используемого в университете, мобильного приложения *Mentimeter* — это цифровой инструмент для голосования, который обеспечивает мгновенную обратную связь от аудитории, позволяет делать интерактивные презентации с различными типами опросов и показывает количество участников опроса. Важно не только задать вопрос, но и проконтролировать получение ответов в реальном времени. Для подключения к приложению обучающихся преподаватель выводит на экран ссылку на приложение и цифровой код. Бесплатная версия позволяет создавать презентации до 3-х слайдов. Для коротких опросов этого достаточно [20].

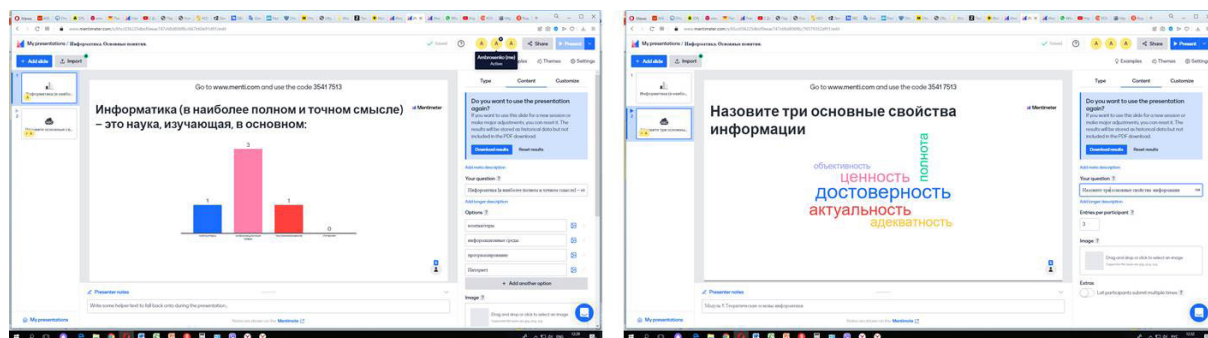


Рисунок 2 – Мобильный сервис Mentimeter для создания интерактивных презентаций и опросов

Мобильное приложение *Spatial Chat* – виртуальное пространство, где участники перемещаются с помощью своих аватаров. Громкость звука зависит от удаленности вашего аватара от его источника. Открывается в браузере. Бесплатные возможности до 3-х отдельных зон, до 50 участников. Имеется возможность размещения изображений или видеороликов, заранее подготовленных преподавателем.

Приведенные примеры использования цифровых инструментов предназначены не столько для знакомства с сервисами, сколько для разработки оптимальной модели гибридного обучения, выбор уместных в конкретной ситуации технологий, цифровых инструментов и сервисов мобильного обучения, их сочетаний с фокусом на цели и возможности применения цифровых инструментов в учебном процессе. Таким образом, представленный авторами опыт использования цифровых инструментов при реализации модели гибридного обучения, позволил определить базовый (оптимальный) набор инструментов и сервисов, исходя из ограничений по бюджету, сформированных на основе целевого финансирования направления развития ЦОС университета на текущий период, требований по достижению образовательного результата, что подтверждается приведенными ниже результатами экспериментальных исследований.

На рисунках 3 и 4 приведены графики экспериментальных усредненных результатов выполнения тестовых заданий по модулям 1 и 2 тематического плана дисциплины «Информатика» тремя группами обучающихся (65-70 человек) в 2019, 2020 и 2021 годах. В 2019 году, до локдауна, все занятия проводились с использованием традиционной очной формы обучения. В 2020 году большая часть занятий проводилась удаленно с использованием моделей перевернутого класса и смешанного обучения. В 2021 году занятия проводились с использованием модели гибридного обучения и использовались цифровые инструменты и сервисы, рассмотренные выше.

По полученным наглядным графикам усредненных результатов выполнения тестовых заданий можно сделать вывод, что использование предлагаемой в статье модели гибридного обучения дает в большинстве ответов более высокие результаты (графики зеленого цвета).

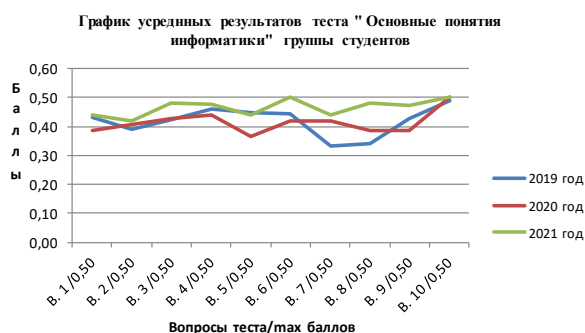


Рисунок 3 – График усредненных результатов теста по модулю 1

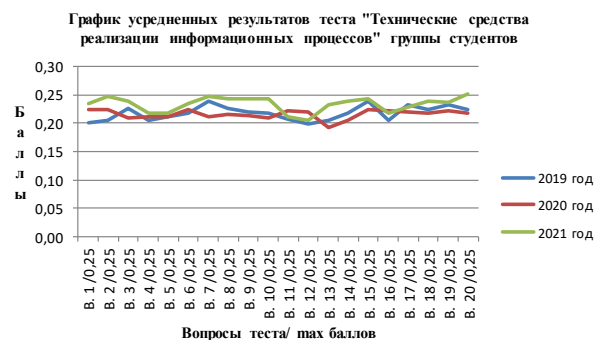


Рисунок 4 – График усредненных результатов теста по модулю 2

Анализ итоговых усредненных оценок по пятибалльной шкале оценивания, полученных за выполнения тестов, также подтверждает вывод, сделанный выше (табл. 1).

Таблица 1 – Итоговые усредненные оценки выполнения тестовых заданий

Вид контроля	Оценка 2019 год	Оценка 2020 год	Оценка 2021 год
тест по модулю 12	4,22	4,13	4,48
тест по модулю 2	4,39	4,33	4,42

Новизна исследования определяется тем, что в статье используется экспертный подход выявления элементов цифровой компетенции в комплексном применении гибридной модели обучения, информационных технологий и способов уместного и оправданного использования цифровых инструментов. Такой подход позволяет выявить уровни оценки условий, необходимых для развития цифровой образовательной среды обучения.

Заключение. Предложенная в статье модель программно-технологического обеспечения гибридного обучения позволяет определить в конкретной ситуации оптимальные технологии, цифровые инструменты и сервисы мобильного обучения, с учетом целевого финансирования развития ЦОС образовательной организации, имеющегося технического и программного обеспечения. Следует отметить, что модель гибридного обучения требует наличия соответствующих цифровых компетенций преподавателей, связанных с различными видами доставки учебного материала, способами повысить вовлеченность студентов и уровень их мотивации.

Доработка или создание оптимальных моделей обучения с учетом представленного экспертного опыта позволит найти уникальные и индивидуальные подходы к различным условиям в вузах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Брагина, З.В., Крылова Н.Г., Тимонин А.Ю. Онлайн обучение: от психометрического анализа к формированию профессиональных компетенций // Аллея Науки. Изд-во: ИП Шелистов Д.А. 2017. Т. 1, № 11. С. 327-335.
2. Кречетников К.Г. Креативная образовательная среда на основе информационных и телекоммуникационных технологий как фактор саморазвития личности // URL:<http://www.eidos.ru/journal/2004/0622-10.htm> (дата обращения 18.01.2022).
3. Болдарук, И.И. Информационно-коммуникационные

технологии как фактор формирования мотивации студентов к учебной деятельности / И.И. Болдарук, Н.Д. Амбросенко, С.А. Броннов // Проблемы современной аграрной науки: Материалы международной научной конференции, Красноярск, 15 октября 2021 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – С. 449-451.

4. Титовская Н.В., Титовский С.Н. Использование LMS Moodle в Красноярском ГАУ // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции. Красноярск: 2018. С. 268-271

5. Ломаско, П.С., Симонова А.Л. U-learning - повсеместное электронное обучение в XXI веке: на пути к коннективизму и смарт-образованию // Информатизация образования и методика электронного обучения: материалы I Международной научной конференции в рамках IV Международного научно-образовательного форума "Человек, семья и общество: история и перспективы развития", 27-30 сентября 2016 г., Красноярск: Сиб. федер. ун-т, Ин-т космич. и информ. технологий; отв. ред. М. В. Носков. – Красноярск: 2016. СФУ. С 293-297.

6. Цифровые технологии в образовательном пространстве / О.И. Ваганова, А.В. Гладков, Е.Ю. Коновалова, И.Р. Воронина // Балтийский гуманитарный журнал. – 2020. – Т. 9. – № 2(31). – С. 53-56. – DOI 10.26140/bgj3-2020-0902-0012.

7. Трофимова, Н. Н. Современные технологии формирования цифрового образовательного пространства / Н. Н. Трофимова // Научно-практические исследования. – 2020. – № 12-4(35). – С. 71-76.

8. Третьякова, М.Ф. Обзор моделей смешанного обучения: теоретический и прикладной аспекты / М.Ф. Третьякова, К. В. Боровикова // Амурский научный вестник. – 2021. – № 3. – С. 36-44.

9. Баловнева, А.Н. Модель реализации непрерывного образования на основе цифрового следа / А.Н. Баловнева, С.И. Колесникова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2018. – № 2. – С. 13-16.

10. Алкубаева, В.С. Анализ моделей современного смешанного и гибридного обучения / В.С. Алкубаева, В.С. Блинов, М.А. Рубцов // Проблемы управления качеством образования: Сборник статей XIV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, 21–22 декабря 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 10-13.

11. Волобуева, Т.Б. Моделирование непрерывного гибридного обучения педагогических кадров / Т.Б. Волобуева // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров. – 2017. – № 4(33). – С. 20-26.

12. Distance learning online technologies as a promising form of the educational process for the humanities / P.V. Limarev, Yu.A. Limareva, E.G. Zinovyeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk, 08–09 октября 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Limited, 2020. – P. 12188. – DOI 10.1088/1742-6596/1691/1/012188.

13. Рудинский, И.Д. Гибридные образовательные технологии: анализ возможностей и перспективы применения / И.Д. Рудинский, А.В. Давыдов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2021. – Т. 7. – № 1. – С. 44-52

14. Ткаченко, П.В. Гибридное обучение как способ повышения эффективности образования / П.В. Ткаченко, Е.В. Петрова, Н.И. Белоусова // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2021. – Т. 10. – № 3(36). – С. 277-279. – DOI 10.26140/anip-2021-1003-0070.

15. Impact of digital services of hybrid cloud-based learning environment on efficiency of education / N. Kovalevskaia, E.N. Gilyazeva, O. Lobazova [et al.] // Revista Tempos e Espaço em Educação. – 2021. – Vol. 14. – No 33. – P. 15297. – DOI 10.20952/revtee.v14i33.15297.

16. Гриншкун, В.В. Цифровые инструменты в профессиональной подготовке педагогов / В.В. Гриншкун // Альманах Института коррекционной педагогики. – 2021. – № 43(1). – С. 1-10.

17. Бахина, А.В. Эффективность цифровых инструментов формирования общекультурных и профессиональных компетенций / А.В. Бахина // Альманах Института коррекционной педагогики. – 2021. – № 43(1). – С. 88-108.

18. Ambrosenko N.D., Skuratova O.N., Shmeleva Zh.N. Preliminary results of the university participation in the project "Modern digital educational environment" // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – Тольятти: 2019. Том 8, № 1(26). С. 16-19.

19. Зенюткин, Н., Ковалев, Д., Туев, Е., Туева, Е. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов // Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021 № 1(1).-С. 10–22. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22>

20. Мобильное обучение. Отчет NMC Horizon: высшее образование. 2017. – Режим доступа: <https://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2017-higher-education-edition-russian/>.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 629.1

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0007

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЭС

©2022

Данилова Евгения Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры КиПРА
Таньков Георгий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры КиПРА
Юрков Николай Кондратьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой КиПРА
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mails: siori@list.ru, g.tankov43@mail.ru, yurkov_nk@mail.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены особенности применения методики математического моделирования при конструкторском проектировании радиоэлектронных средств (РЭС), работающих в условиях динамических внешних воздействий. Проанализированы значимость применения дискретных моделей и особенности их создания для исследования динамики определенных конструктивов электронной аппаратуры. Предложена концепция исследования простых моделей пластинчатых конструкций на основе применения метода конечных разностей для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Рассмотрены геометрическая и расчетная модели пластины, показаны отличия в их построении при различных способах закрепления. Показаны особенности в разработке моделей по расчету собственных форм и частот изгибных колебаний пластин. В заключении приведены результаты исследования на этих моделях, проанализированы результаты, дано условие сходимости итерационного процесса, сделаны выводы. Полученные результаты могут стать основой для разработки методики расчета резонансных частот и форм колебаний пластинчатых конструкций радиоэлектронных средств.

Ключевые слова: математическое моделирование, конечно-разностный анализ, радиоэлектронное средство, частота и формы колебаний, разностная схема, платина, дискретная модель, печатная плата.

TO THE QUESTION OF CONSTRUCTION OF FINITE-DIFFERENCE MODELS OF PLATE STRUCTURES OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

©2022

Danilova Evgenia Anatolievna, candidate technical science,
associate professor of the department «Design and Production of Radio Equipment»
Tankov Georgy Vasilievich, candidate technical science, associate professor,
associate professor of the department «Design and Production of Radio Equipment»
Yurkov Nikolai Kondratievich, doctor of technical sciences, professor,
head department «Design and production of radio equipment»
Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40, e-mails: siori@list.ru, g.tankov43@mail.ru, yurkov_nk@mail.ru)

Abstract. The article discusses the features of the application of the mathematical modeling technique in the design of radio-electronic facilities operating under conditions of dynamic external influences. The significance of the use of discrete models and the peculiarities of their creation for the study of the dynamics of certain constructs of electronic equipment are analyzed. The concept of studying simple models of plate structures based on the application of the finite difference method for solving partial differential equations is proposed. The geometric and computational models of the plate are considered, the differences in their construction are shown for various methods of fastening. The features in the development of models for the calculation of natural forms and frequencies of bending vibrations of plates are shown. In conclusion, the results of the study on these models are presented, the results are analyzed, the condition for the convergence of the iterative process is given, and conclusions are drawn. The results obtained can become the basis for developing a methodology for calculating resonant frequencies and vibration modes of plate structures of radio electronic equipment.

Keywords: mathematical modeling, finite-difference analysis, radio-electronic means, frequency and modes of vibrations, difference scheme, platinum, discrete model, printed circuit board.

Введение. В современных РЭС плата, как несущий конструктив, занимает почти 60 % объема любого устройства. Несущая основа монтажной платы – пластина, часто стеклотекстолитовая, на которой размещаются электрорадиоэлементы.

Жесткость пластины в поперечном направлении (по толщине) намного меньше, чем в двух других направлениях, поэтому, если вектор внешнего воздей-

ствия перпендикулярен плоскости пластины, то при нестационарных внешних воздействиях в пластине могут возникать изгибные колебания значительной амплитуды (резонанс), и как следствие – значительные ускорения, которые могут превысить допустимые значения для установленных на плате электрорадиоэлементов.

Модели пластинчатых конструкций имеют боль-

шое значение при анализе динамики плат электронных средств на этапе предварительного проектирования, когда конструкция еще задана в чертежах.

Наибольшее распространение в практике инженерных расчетов получили применение дискретные модели, основанные на использовании численных (сеточных) методов, таких как метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ) [1-3]. Для расчета конструкций сравнительно простых геометрических форм и однородных по структуре достаточно эффективным является использование МКР и построение на его основе конечно-разностных моделей [1, 4].

Материалы и результаты исследования. Применение современных информационных технологий в конструкторском проектировании требует разработки расчетных математических моделей РЭС, адекватных реальным условиям протекания физических процессов. Получение таких моделей, их исследование, совершенствование, анализ точности полученных с их помощью результатов, остаются актуальной научно-практической задачей, особенно с учетом того фактора, что математическое моделирование значительно дешевле натурального эксперимента.

Построение модели и расчетного алгоритма изгибных колебаний пластин. Одним из основных несущим элементом РЭС являются конструкции пластинчатого типа, к которым относят печатные платы, панели, шасси. Они выполняют различные функции, начиная от пространственной ориентации и размещения составных элементов, заканчивая обеспечением виброустойчивости и вибропрочности всего устройства при действии различных механических факторов, связанных с условиями эксплуатации. Поэтому динамические расчеты пластинчатых элементов занимают значительное место в оценке работоспособности конструкций РЭС подвижных объектов.

Как известно, наиболее опасной является ситуация, при которой происходит совпадение собственных частот пластинчатых конструкций с диапазоном частот объекта-носителя. В этой связи особое внимание уделяется задаче определения низших собственных форм и частот изгибных колебаний пластинчатых конструкций, так как наибольший отклик в конструкции отмечается именно на этих частотах.

Построение расчетной модели. Положим, что пластина имеет постоянную толщину. Изгибные колебания не вызывают в нейтральном слое деформации растяжения – сжатия. При колебаниях все точки пластины смещаются перпендикулярно к срединной плоскости до деформации. Все поперечные сечения остаются плоскими.

Задача определения собственных форм и частот колебаний пластинчатых конструкций РЭС относится к категории краевых задач математической физики. В основе краевой задачи лежит совокупность дифференциальных уравнений, краевых и начальных условий, которая однозначно определяет физический процесс, протекающий в заданной области и при за-

данных условиях.

Изгибные колебания пластин описываются дифференциальным уравнением технической теории изгиба [1, 5], в котором статическую нагрузку заменяют силой инерции:

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = -\rho \delta \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³; δ – толщина пластины, м; $w=w(x, y, t)$ – смещение текущей точки пластины по оси z ; D – цилиндрическая жесткость при изгибе пластины:

$$D = \frac{E \delta^3}{12(1-\nu^2)}.$$

Здесь E – модуль Юнга, Н/м²; ν – коэффициент Пуассона.

Уравнение (1), дополненное граничными и начальными условиями, будет являться математической моделью свободных, незатухающих колебаний пластины.

Построение расчетного алгоритма. Для решения задачи в общем случае – учет массы навесных элементов, расположенных произвольно, учет произвольных способов закрепления, характерных для конструкций РЭС, аналитические методы непригодны. Поэтому целесообразно использование метода конечных разностей для решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Заменим сплошную пластину совокупностью дискретных элементов с шагом разбиения h_x по оси x с шагом h_y по оси y . Массу каждого дискретного элемента сосредоточим в его центре – узле, силы взаимодействия между элементами заменим упругими связями между узлами. Получим геометрическую дискретную модель пластины, состоящую из N узлов, соединенных упругими связями (рис. 1).

В модели можно выделить следующие узлы (рис. 1):

- граничные, расположенные на границе пластины;
- центральные (внутри пластины);
- законтурные (вспомогательные, используемые для расчета узлов, находящиеся вблизи границы).

При жестком закреплении пластины вводим один ряд законтурных узлов; для незакрепленной стороны пластины вводим два ряда вспомогательных законтурных узлов (рис. 1).

В реальной конструкции при изгибе пластины каждая ее точка совершает сложное движение. Для упрощения принимаем, что каждый узел модели – сетки пластины перемещается только по нормали к плоскости пластины.

При колебаниях на первой резонансной частоте амплитуда колебания каждого узла максимальна, а закон движения – гармонический: перемещения каждого узла модели пластины изменяются по закону:

$$w=W(x,y)\sin\omega t, \quad (2)$$

где ω – собственная частота колебаний.

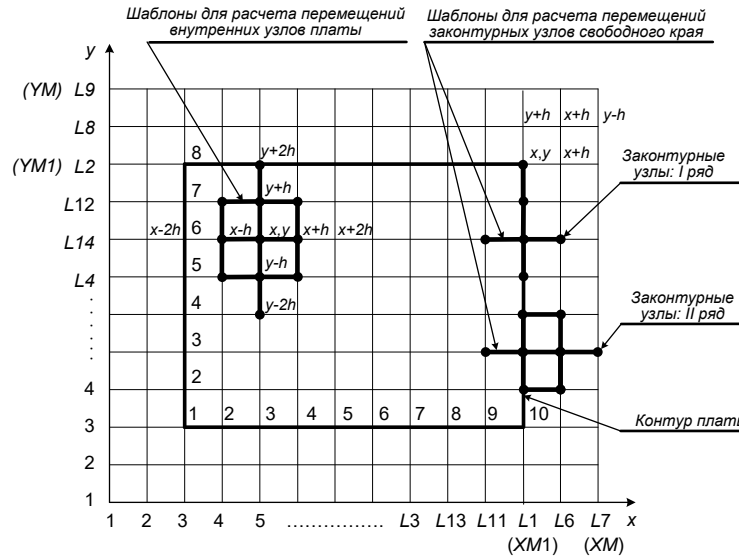


Рисунок 1 – Расчетное поле пластины. Законтурные узлы

Подставив (2) в (1), продифференцируем по времени правую часть; сократив на $\sin \omega t$ и поделив обе части полученного уравнения на цилиндрическую жесткость, получим разностное уравнение модели в виде:

$$\begin{aligned}
 & A1W(x+2, y) - A2W(x+1, y) + A3W(x, y) - A2W(x-1, y) + A1W(x-2, y) + \\
 & + A4W(x+1, y+1) - A5W(x, y+1) + A4W(x-1, y+1) + A4W(x+1, y-1) - \\
 & - A5W(x, y-1) + A4W(x-1, y-1) + A6W(x, y+2) + A6W(x, y-2) = \frac{\rho \delta \omega^2}{D} W(x, y)
 \end{aligned} \quad (3)$$

где $A1 = \frac{1}{h_x^4}$; $A2 = \frac{4}{h_x^4} + \frac{4}{h_x^2 h_y^2}$; $A3 = \frac{6}{h_x^4} + \frac{8}{h_x^2 h_y^2} + \frac{6}{h_y^4}$; $A4 = \frac{2}{h_x^2 h_y^2}$; $A5 = \frac{4}{h_x^2 h_y^2} + \frac{4}{h_y^4}$; $A6 = \frac{1}{h_y^4}$ – коэффициенты резонансного уравнения.

Используя разностный оператор, уравнение (3) можно записать в комплексном виде:

$$L(W) = \lambda W(x, y), \quad (4)$$

где $L(W)$ – левая часть (2), а $\lambda = \frac{\rho \delta \omega^2}{D}$ – собственный параметр.

Масса навесного элемента может быть учтена в модели в виде коэффициента плотности:

$$p_i = \frac{m_s}{h_x h_y \delta} + \rho_n, \quad (5)$$

где m_s – масса навесного элемента (или часть массы), относящегося к заданному узлу; h_x, h_y – шаги сетки по осям x, y ; δ – толщина плиты; ρ_n – плотность материала пластины.

Тогда уравнение (4) для центральных узлов запишется в виде:

$$L(W) = p_i \lambda W(x, y).$$

Для расчета перемещений в граничных узлах, которые обычно располагаются по контуру пластины, вводятся два ряда законтурных узлов (рис. 1), т.к. уравнение (3) содержит производные четвертого порядка, которые в разностной форме воспроизводятся на пятиточечном шаблоне. Значения прогибов в законтурных узлах вычисляются из граничных условий, которые определяются способом закрепления пластины. Аналитические выражения для случаев закрепления пластины [2] представляются в разностной форме.

Особый случай возникает при расчете угловых узлов свободного края (рис. 1). Для вычисления про-

гибов в узлах $(x+2, y)$, $(x, y+2)$ необходимо знать значение W в точке $(x+1, y+1)$. Его можно найти по интерполяционной формуле: $W(x+1, y+1) = W(x+1, y) + W(x, y+1) - W(x, y)$.

Для закрепленного края пластины в граничных узлах полагается $W(x, y) = 0$, а в законтурных узлах $W(x+1, y) = -KGW(x-1, y)$, $W(x, y+1) = -KGW(x, y-1)$

где KG – коэффициент, учитывающий жесткость защемления: $0 \leq KGW \leq 1$. Значение $KG=0$ соответствует жесткому защемлению края, а $KG=1$ – свободному опиранию.

Если пластина закреплена винтами в определенных точках, то в соответствующих узлах полагается $W(x, y) = 0$.

Схема расчета. Для определения собственной формы колебаний и собственного параметра на основе вышеизложенного алгоритма строится итерационный процесс, который состоит в последовательном уточнении собственной частоты и форм колебаний, т.е. значений λ_n и $W(x, y)$, где λ_n – собственный параметр всей пластины.

Формула собственного параметра пластины выводится аналогично выводу формулы собственного параметра стержня и имеет вид:

$$\lambda_r = \frac{\sum_{x,y} L(W) \cdot W(x, y) p_i}{\sum_{x,y} (W_{x,y})^2 p_i^2}. \quad (6)$$

В данном случае необходимо обеспечить выделе-

ние двумерного массива для хранения расчетных перемещений узлов в каждой итерации. Перед началом расчета в каждой ячейке следует задать перемещение узлов исходного приближения в виде единичных значений во всех незакрепленных узлах и нулевых значений в закрепленных.

Далее определяются значения собственного параметра λ_n по формуле (6), и перемещение каждого узла на очередном шаге итераций корректируется по значению собственного (частотного) параметра всей платы:

$$W(x, y) = \frac{\bar{L}(W)}{p_i \lambda_n - A3},$$

где $A3$ – коэффициент при $W(x, y)$ в левой части (3), $\bar{L}(W)$ – левая часть (3) без $W(x, y)$.

После каждого уточнения значений $W(x, y)$ определяются значения функции W в законтурных узлах в зависимости от способа закрепления, и процесс вычислений повторяется для следующего шага итераций.

Процесс вычислений продолжается до выполнения условия сходимости итерационного процесса:

$$\left| \frac{\lambda^{(n+1)} - \lambda^{(n)}}{\lambda^n} \right| \leq \varepsilon^2,$$

где n – номер итерационного цикла; ε – величина, определяющая сходимость процесса.

По полученному значению λ_n вычисляется первая резонансная частота колебаний пластины:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\lambda_n D}{\rho_n \delta}},$$

а соответствующие ей значения $W(x, y)$ в узлах модели дают первую собственную форму колебаний пластины.

Таким образом, математическая модель (система алгебраических уравнений) определения низшей собственной частоты требует для своей реализации формирования сеточной области (рис. 1), массива коэффициентов плотности (5), задания начального приближения собственной формы колебаний и определения граничных условий. Для определения собственной формы и частоты организуется итерационный вычислительный процесс.

Для вычисления второй, третьей, четвертой, пятой и шестой собственных форм и частот колебаний используется итерационный процесс, аналогичный процессу расчета первого резонанса. Исходные данные те же – сеточная область, коэффициенты плотности и т.д. К ним относятся и массив значений сеточной функции $W1(x, y)$, $W2(x, y)$, $W3(x, y)$ и т.д., соответствующий вычисленным первой, второй, третьей и т.д. собственным формам.

Для определения последующих форм и частот применяется свойство ортогональности собственных форм [6]. Подчинив исходную форму $W0(x, y)$ и ее последующие итерации условию ортогональности с первой, второй и т.д. собственными формами, можно вычислить значения сеточной функции, соответствующие второй, третьей и т.д. собственным формам.

Например, для второй формы

$$W2(x, y) = W0(x, y) - W1(x, y) \frac{\sum_{x,y} [W0(x, y) \cdot W1(x, y)]}{\sum_{x,y} [W1(x, y)]^2}.$$

Аналогично для остальных форм, причем эти уравнения входят не одномерные, а двухмерные массивы сеточной функции.

Поскольку в расчетах перемещения собственных форм определяются с точностью до постоянного множителя, для получения истинных значений перемещений при колебаниях пластины используется формула масштабного коэффициента, в которую введены затухание и амплитуда внешнего воздействия:

$$A = \frac{\pi \rho \delta (a_k \cdot 9,81) \sum_{x,y} p_i |W(x, y)|}{\lambda D \sum_{x,y} L(W(x, y)) W(x, y)},$$

где λ – логарифмический декремент колебаний; a_k – амплитуда внешнего воздействия.

Масштабный коэффициент необходимо вычислять для каждой формы колебаний. Затем считать истинные перемещения в миллиметрах: $W_{uc} = 1000 \cdot A \cdot W(x, y)$. Далее можно строить графически i -ю собственную форму колебаний.

Заключение. При эксплуатации на реальных объектах-носителях на РЭС воздействует большое число дестабилизирующих факторов [7, 8]. Одним из них является вибрация, опасность которой заключается в возникновении резонанса. Совпадение частот собственных и внешних воздействий может оказывать значительное влияние как на функционирование аппаратуры в целом, так и на работоспособность ее конструктивных элементов, а в некоторых случаях привести к отказу всего устройства. Поэтому важной задачей при проектировании нового устройства является моделирование динамических характеристик конструкции, ее элементов и узлов. Математические модели пластинчатых конструкций, построенные МКЭ, представляются доступным и эффективным инструментом анализа конструкций РЭС, оценки вибропрочности и виброустойчивости устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кофанов Ю.Н. Информационная технология моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств / Ю.Н. Кофанов, Е.С. Новиков, А.С. Шалунов. – М.: Радио и связь, 2000. – 160 с.
2. Аль-Араджи З.Х.М., Макаров О.Ю., Турецкий А.В., Шуваев В.А. Моделирование механических характеристик многослойных печатных плат в PRO/ENGINEER Радиотехника. 2014. № 3. С. 101-102.
3. Токарев М.Ф. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / М.Ф. Токарев, Е.Н. Талицкий, В.А. Фролов / Под ред. В.А. Фролова. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с. ил.
4. Тартаковский А.М. Красевые задачи в конструировании радиоэлектронной аппаратуры. Изд-во Сарат. ун-та, 1984. – 132 с.
5. Хайкин С.Э. Физические основы механики. – М.: Высшая школа, 1962. – 772 с.
6. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968. – 559 с.
7. Таньков Г.В., Трусов В.А. Модельные и стендовые методы определения амплитудно-частотных характеристик плат БРЭА / Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 1. Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. С. 304-307.
8. Юрков Н.К., Михайлов В.С. Анализ возможностей по снижению объема испытаний на надежность / Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4 (28). С. 149-156.

Статья поступила в редакцию 01.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 004.451

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0008

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПОДСИСТЕМЫ ОЧЕРЕДЕЙ СООБЩЕНИЙ В РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

© 2022

Мартышкин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Программирование»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

Синев Михаил Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника»

Шеянов Николай Николаевич, студент кафедры «Вычислительная техника»

Нешко Дарья Олеговна, студент кафедры «Вычислительная техника»

Никишин Кирилл Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40,

e-mails: mix.sinev@gmail.com, snn1998@gmail.com, daria-uno@yandex.ru, nkipnz@mail.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены основные виды архитектур построения приложений для высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем, их преимущества и недостатки, а также затронут такой важный вопрос, как взаимодействие данных при их передаче между приложением-производителем и приложением-потребителем в режиме реального времени как внутри одного приложения, так и взаимодействие между несколькими приложениями. По итогам проведенного исследования получено готовое приложение, позволяющее осуществлять высокопроизводительную синхронизацию данных между сервисами посредством брокера сообщений. Для этого выбраны наиболее подходящие технологии, настроены конфигурации отдельных частей, разработаны алгоритмы и установлены структуры входящих сообщений, а также определена структура базы данных для хранения объектов. Еще одной немаловажной задачей, решаемой в рамках исследования является отладка приложения, оптимизация его алгоритма, функциональное тестирование и имитационное моделирование, а также корреляция настроек приложения и ресурсов реконфигурируемой вычислительной системы, на которой развертывается данное приложение, т.к., если приложение будет сконфигурировано неправильным образом, это может значительно сказаться на общей производительности системы, работающей в режиме реального времени. В завершении исследования рассмотрены вопросы производительности приложения при различных конфигурациях. По полученным результатам тестирования построены графики, наглядно отображающие эффективность работы при конкретном наборе параметров.

Ключевые слова: реконфигурируемая вычислительная система, система реального времени, высокопроизводительная вычислительная система, приложение, взаимодействие процессов, потребитель, производитель, производительность, передача сообщений.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MODELS OF THE MESSAGE QUEUE SUBSYSTEM IN A RECONFIGURABLE COMPUTING SYSTEM

© 2022

Martyshkin Alexey Ivanovich, candidate of technical sciences, docent,
head of sub-department «Programming»

Penza state technological University

(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mail: alexey314@yandex.ru)

Sinev Mihail Petrovich, candidate of technical sciences,

associate Professor of sub-department «Computer engineering»

Sheyanov Nikolay Nikolaevich, student of sub-department «Computer engineering»

Neshko Daria Olegovna, student of sub-department «Computer engineering»

Nikishin Kirill Igorevich, candidate of technical sciences,

associate Professor of sub-department «Computer engineering»

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya Street, 40,

e-mails: mix.sinev@gmail.com, snn1998@gmail.com, daria-uno@yandex.ru, nkipnz@mail.ru)

Abstract. The article discusses the main types of application architectures for high-performance reconfigurable computing systems, their advantages and disadvantages, and also touches on such an important issue as the interaction of data during their transmission between the producer application and the consumer application in real time both within one application and interaction between several applications. Based on the results of the study, a ready-made application was obtained that allows for high-performance data synchronization between services through a message broker. For this purpose, the most suitable technologies have been selected, configurations of individual parts have been configured, algorithms have been developed and structures of incoming messages have been established, and the

structure of the database for storing objects has been determined. Another important task solved within the framework of the study is debugging the application, optimizing its algorithm, functional testing and simulation, as well as correlation of application settings and resources of the reconfigurable computing system on which this application is deployed, because if the application is configured incorrectly, this can significantly affect the overall performance of the system running in real time. At the end of the study, the issues of application performance research under various configurations are considered. Based on the obtained test results, graphs are constructed that visually display the efficiency of work with a specific set of parameters.

Keywords: reconfigurable computing system, real-time system, high-performance computing system, application, process interaction, consumer, producer, performance, message transmission.

Введение. В современном мире все сферы деятельности оказались под влиянием информационных технологий. При функционировании всевозможных комплексов и систем (например, высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем (РВС)) обрабатывается колоссальное количество информации при операциях фильтрации, анализа, классификации и преобразования.

Важная часть работы любого приложения, функционирующего на конкретной аппаратной платформе – предоставление конечному пользователю актуальных и достоверных данных в режиме реального времени, т.к. любые, даже самые незначительные, задержки могут вызвать огромные накладные расходы и убытки. В связи с чем необходимо заранее провести детальный анализ для выявления наилучшего способа построения приложения, функционирующего на конкретной РВС. В крупных приложениях часто возникает ситуация, когда источником необходимых для работы данных является стороннее приложение. Этот факт накладывает дополнительные сложности на синхронизацию поступающих данных между производителем и потребителем данных, но что произойдет, если приложений-потребителей будет несколько? В такой ситуации необходимо произвести аналитическое исследование по построению архитектурного решения не только внутри приложения, но и во взаимодействии его с другими связанными приложениями.

В статье объектом исследования выступает высокопроизводительный обмен данными с множественными получателями. Предметом исследования являются способы взаимодействия приложений при синхронизации данных в режиме реального времени и наличии нескольких приложений-потребителей, а также оптимальные конфигурации приложений для наиболее эффективного выполнения поставленных задач в рамках имеющихся ресурсов РВС.

Цель настоящей работы – выявление и анализ наилучшего решения для обмена данными между приложением-производителем и приложением-потребителем в режиме реального времени, построение архитектуры и реализация приложения-потребителя, осуществляющего синхронизацию данных, а также выбор наиболее подходящей конфигурации серверных настроек и вычислительного оборудования РВС.

Материалы и результаты исследования. Проведение анализа предметной области начнем с архитектуры программного обеспечения (ПО). Известно большое количество разных подходов к проектированию

архитектуры ПО [1, 2]. Уже продолжительное время в мире разработки ПО преимущественно используются две популярные архитектуры разработки приложений: монолитная и микросервисная [3]. Выбор конкретного типа архитектуры зависит от решаемых задач и требований, выдвинутых к приложению. Анализируя задачу, в которой данные для синхронизации поступают от одного источника ко многим получателям и, принимая во внимание, что полученные данные в дальнейшем будут использоваться в рамках реализации других процессов, наилучшим решением для построения приложения будет использование микросервисной архитектуры, т.к. если возникнет потребность в синхронизации данных от других источников или нужно будет передавать эти данные в какой-либо другой модуль обработки, то лучше будет реализовать каждую из этих частей в виде отдельных сервисов (сервис синхронизации 1, сервис синхронизации 2, сервис обработки 1, сервис обработки 2 и т.д.) [4]. Одним из основных вопросов при проектировании микросервисной архитектуры является взаимодействие между ее составными компонентами с целью обмена данными [5].

Первым способом является взаимодействие посредством прямых *HTTP*-запросов. При этом запросы могут выполняться как синхронно, так и асинхронно. Данный способ является самым простым в исполнении, но он не подходит для масштабирования, т.к. если нескольким сервисам необходимо получать одни данные от этого сервиса, то необходимо будет реализовать все каналы связи. При большом количестве сервисов в архитектуре приложения данный подход будет требовать все больше ресурсов на поддержание корректной работы всех информационных потоков [6]. Вторым способом взаимодействия микросервисов является событийная коммуникация. Такой подход позволяет сохранять слабую связь между сервисами и при этом отслеживать лишь те события, которые необходимы для работы конкретного сервиса [7]. При таком подходе между сервисами не передаются полезные данные, вследствие этого, если один из сервисов является производителем данных, которые потребляет другой сервис, то использовать событийную коммуникацию является невозможным решением. Третьим рассматриваемым способом общения между микросервисами является обмен сообщениями. При таком варианте сервисы не взаимодействуют друг с другом напрямую, а используют для этого особый механизм – брокер сообщений [9-10]. Все сервисы имеют доступ

к брокеру и именно он является центральным узлом. Подход обмена сообщениями использует шаблон публикация-подписка, при котором множество сервисов может получать данные от одного производителя. Сложностями этого подхода является отсутствие гарантии доставки сообщений, а также согласование структуры отправляемых сообщений. Рассмотрев представленные варианты, сделаем вывод, что каждый подход решает конкретные проблемы и выбор наилучшего варианта зависит от поставленной задачи. Все представленные выше варианты предоставляют большие возможности по взаимодействию между сервисами.

Основная задача, рассматриваемая в статье – высокоэффективная обработка входящих сообщений для синхронизации данных. Задача состоит в том, что есть приложение-производитель данных, оно производит данные, которые необходимо получить, обработать и привести все атрибуты объекта к соответствию конкретной системы. Основной особенностью является то, что приложений-потребителей множество и каждое из них разрабатывается отдельной командой разработчиков для реализации конкретных функций. Это накладывает некоторые ограничения на формат сообщений – они должны содержать сведения, подходящие для всех приложений. Другой сложностью является то, что каждый объект имеет многочисленные вложенные объекты, обработка которых занимает продолжительное время, т.к. в рамках обработки выполняется большое количество *SQL*-запросов к БД на получение внутренних атрибутов, используемых в рамках конкретной системы. При этом приложение должно работать в режиме реального времени и не допускать отставания от приложения-производителя, а также не должно допускать обработки некорректных данных.

Для решения данной задачи предлагается реализовать отдельный сервис синхронизации данных, главной целью которого будет получение, первичная обработка и сохранение корректных данных в БД системы. Полученный модуль в дальнейшем, при необходимости, можно будет легко заменить на другой.

Для синхронизации данных между одним производителем и несколькими потребителями лучшей стратегией взаимодействия приложений будет использование подхода обмена сообщениями по типу публикация-подписка [8]. Данный подход позволяет передавать сообщение, содержащее полезные данные, всем приложениям, подписанным на данную тему. Для того, чтобы минимизировать возможные проблемы такого подхода и получить наиболее эффективный вариант обработки сообщений будем использовать подходящие программные средства, например, *Apache Kafka*.

Основным звеном приложения является брокер сообщений. Существует множество различных вариантов, таких как *ActiveMQ*, *Apache Kafka* и другие. В работе будем использовать open source брокеры сообщений. Для того чтобы окончательно решить какой из брокеров является наилучшим для решения поставлен-

ной задачи, нужно сравнить их производительность, для этого воспользуемся данными, представленными в работе «*Performance Comparison of Message Queue Methods*» (2019) автора Raje Sanika [11].

Рассмотрим четыре основных сценария: 1 производитель – 1 потребитель, 1 производитель – 2 потребителей, 2 производителя – 1 потребитель и 2 производителя – 2 потребителей. При исследовании будем рассматривать такие параметры, как пропускная способность, измеряемая в сообщениях в секунду, и задержка на количество сообщений, измеряемая в мс (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, наибольшую пропускную способность и наименьшую задержку имеет *Apache Kafka*, поэтому для минимизации недостатков стратегии взаимодействия между сервисами посредством обмена сообщениями будем использовать именно ее. *Apache Kafka* – потоковая платформа, публикующая потоки данных и подписки на них, а также осуществляет их хранение и обработку. Платформа предоставляет огромные возможности масштабирования, при этом не требует создания множества отдельных брокеров сообщений, а предоставляет централизованную платформу для взаимодействия микросервисов. Другим преимуществом *Apache Kafka* является возможность тонкой настройки времени хранения сообщений, что обеспечивает репликацию, целостность и хранение данных в течение любых промежутков времени. И, наконец, потоковая обработка повышает уровень абстракции, что в свою очередь позволяет *Apache Kafka* на основе потоков данных вычислять производные потоки и наборы данных динамически [12-13].

Последовательность синхронизации данных от сервиса-производителя до сервиса-потребителя состоит из следующего алгоритма, приведенного на рисунке 2.

Вначале сервис-производитель, в соответствии с некоторыми требованиями, выполняет формирование и обработку данных на своей стороне. После чего преобразует их в легковесный формат передачи данных по сети *JSON* и отправляет это сообщение в брокер *Apache Kafka*. В это время сервис-потребитель прослушивает темы, на которые он подписан на наличие новых сообщений. С этого момента начинается обработка сообщений в сервисе-потребителе.

Важной частью взаимодействия между сервисами является соглашение о структуре, пересылаемого сообщения [14-16]. Данное сообщение состоит из служебной информации, которая вкладывается самим брокером *Kafka*, а также из части наших данных, хранящихся в поле “*value*” (табл. 1).

Как только публикуются новые сообщения, слушатель вычитывает пакет сообщений, размер которого настраивается, и передает его в обработку в сервис обработки сообщений *MessageService*. Сообщения разбираются на *LinkedHashMap<Integer, Value>*, где ключом является глобальный идентификатор во всех системах (производителе и других потребителях), а значением является информационная структура со всеми ее данными [17]. Каждое сообщение преобразуется в целевые информационные объекты. После

чего с помощью класса *Validator* происходит проверка информационных объектов на корректность данных, если данные некорректны, то в журнал логов выводится соответствующее сообщение, а обработка данного сообщения не производится. После чего происходит помещения данных информационного объекта в карту

[17-18]. Данный алгоритм позволяет не обрабатывать промежуточные данные объекта в рамках данного пакета сообщений. Это позволяет снизить количество вычислений, т.к. при наличии в пакете сообщений 10 записей, касающихся одного и того же объекта, она будет обработана всего 1 раз.

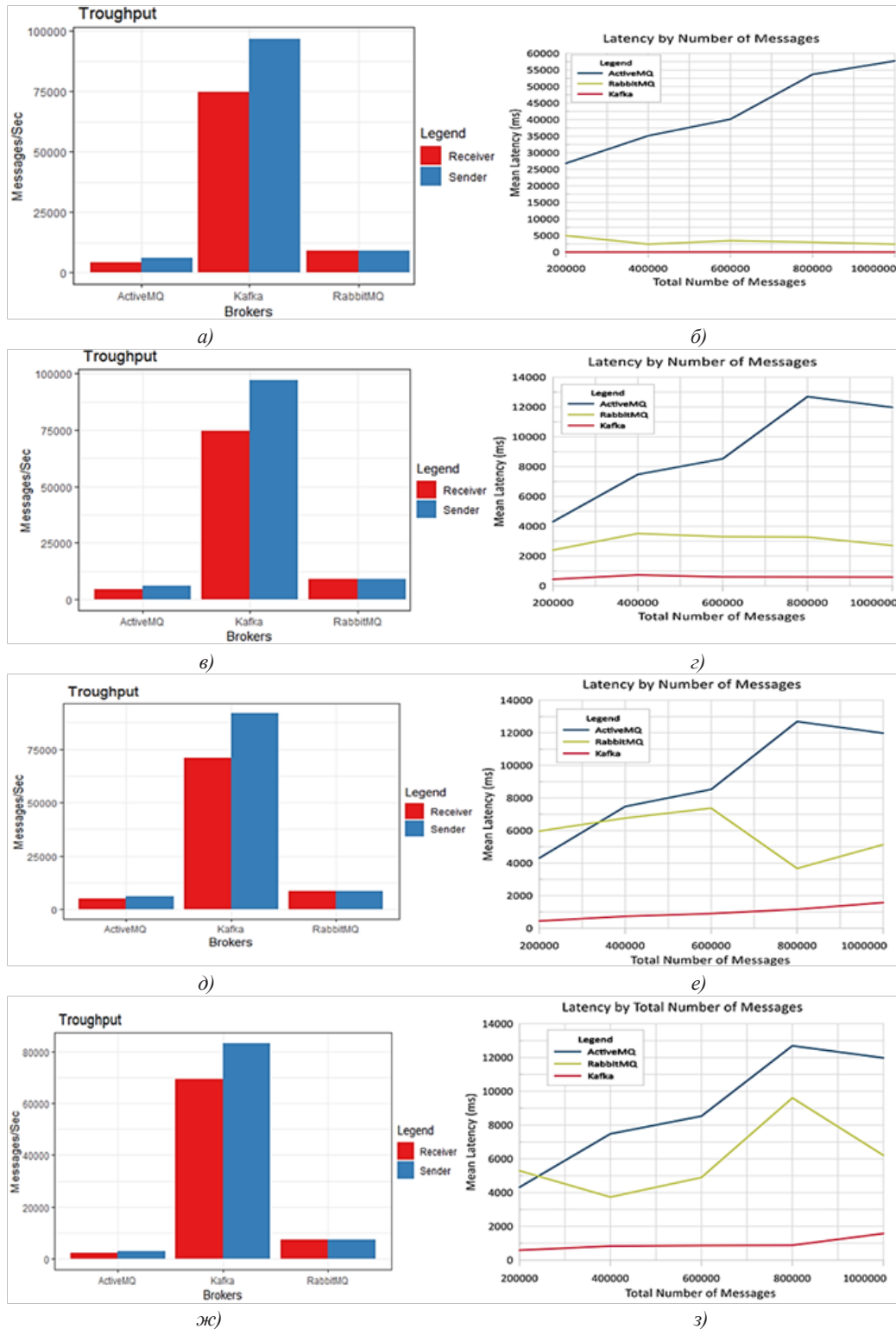


Рисунок 1 – Пропускная способность (а); задержка на количество сообщений (б) (1 производитель – 1 потребитель); пропускная способность (в); задержка на количество сообщений (г) (1 производитель – 2 потребителя); пропускная способность (д); задержка на количество сообщений (е) (2 производителя – 1 потребитель); пропускная способность (ж); задержка на количество сообщений (з) (2 производителя – 2 потребителя)

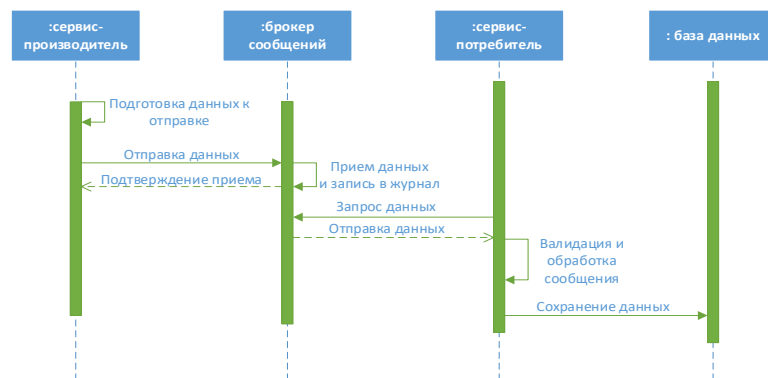


Рисунок 2 – Алгоритм синхронизации данных от сервиса-производителя до сервиса-потребителя

Таблица 1 – Атрибуты входящего json-сообщения

Название атрибута	Описание атрибута	Пример
topic	Тема, из которой получена эта запись	paper.topic
partition	Раздел темы, из которого получена эта запись	0
leaderEpoch	Необязательный лидер эпохи записи	0
offset	Смещение этой записи в соответствующем разделе Кафки	152
CreateTime	Время создания записи (мс)	1620386532558
serializedkeysize	Длина сериализованного ключа	-1
serializedvaluesize	Длина сериализованного значения	290
headers	Список заголовков записи	
isReadOnly	Заголовки только для чтения	false
key	Ключ записи, если он существует	null
value	Содержание записи	

Как только сформирована конечная карта всех обрабатываемых сообщений, она передается в *ThreadPoolTaskExecutor* – класс реализующий, менеджмент параллельной обработки данных. Каждое сообщение из карты передается в *MessageProcessor*, где происходит его обработка, параллельно с обработкой других сообщений. Размер *ThreadPoolTaskExecutor* задается через файл настроек [19-20].

В *MessageProcessor* происходит вся дальнейшая обработка сообщения, приведение к соответствию глобальных атрибутов объекта и локальных, вычисление некоторых параметров и т.д. В конце итоговые данные сохраняются в БД.

Как только обработка всех сообщений пакета закончена, то слушатель готов к приему нового пакета сообщений.

Имитационное моделирование. Моделирование на реальной вычислительной машине производится с целью максимального улучшения алгоритма и подбора такой конфигурации серверных настроек и материального обеспечения, которые обеспечат наивысшую эффективность в рамках поставленных ограничений:

- количество потоков, обрабатывающих пакет входящих сообщений;
- размер очереди, а именно максимальное количество сообщений в очереди;
- размер пакета.

Для того чтобы провести тестирование производительности необходимо создать необходимый пул входных значений. Первоначально этот пул состоит из одной тысячи тестовых сообщений.

Проводимое моделирование будет заключаться в том, что мы будем задавать различные значения для количества потоков, количества сообщений, размера

очереди и размера пакета, после чего будем производить прием заданного количества тестовых сообщений, замерять конечное время на их полную обработку и выполнять расчеты коэффициентов прироста производительности.

Измерения производились на виртуальной PBC, развернутой на машине – Ноутбук *DELL G5 5590, 15.6", IPS, Intel Core i7 9750H 2.6ГГц, 16ГБ, 1000ГБ, 256ГБ SSD, nVidia GeForce RTX 2060 - 6144 Мб, Windows 10.*

При этом исследования разделены на ряд итераций, внутри каждой из которых происходит изменение количества потоков обработки с последующей фиксацией результатов, при этом размер очереди, количество сообщений и размер вычитываемого пакета останутся неизменными. В рамках разных итераций будет изменяться размер очереди, количество сообщений и размер вычитываемого пакета. Результаты представлены в виде графиков времени обработки сообщений в зависимости от количества потоков-обработчиков.

Первая итерация была базисной, от которой мы в дальнейшем отталкивались и меняли параметры в соответствии с результатами проверок. Моделирование выполнялось для следующих данных:

- общее количество сообщений – 1000 штук;
- максимальное количество сообщений в очереди – 400 штук;
- количество сообщений, вычитываемых за одну операцию – 400 штук.

Пунктирной линией на графике, представленном на рисунке 3 отмечено контрольное значение по допустимому времени обработки. Контрольное значение определяется исходной прикладной задачей и может варьироваться в зависимости от постановки целевого

условия. Как можно увидеть из рисунка, при количестве потоков меньше 16 мы не можем преодолеть контрольное значение для времени обработки в 100000 мс, поэтому отсечем эту область при дальнейшем тестировании.

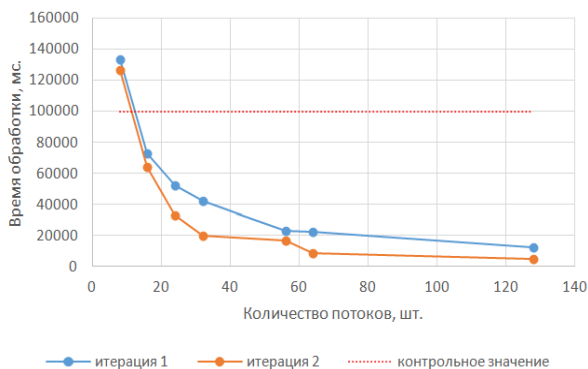


Рисунок 3 – Время обработки сообщений в зависимости от количества потоков-обработчиков на итерации 1

Моделирование на второй итерации выполнялось для следующих данных:

- общее количество сообщений – 1000 штук;
- максимальное количество сообщений в очереди – 128 штук;
- количество сообщений, вычитываемых за одну операцию – 512 штук.

Отметим, что присутствует рост производительности в связи с тем, что количество потоков и размер обрабатываемого пакета коррелируют между собой. При выставлении значений размера пакета и очереди кратным количеству потоков, получаем прирост эффективности.

Заключение В ходе проведения исследований разработана программная реализация приложения, осуществляющего синхронизацию данных между сервисами с типом взаимодействия, «публикация-подписка» в микросервисной архитектуре в режиме реального времени. Примером подобных приложений могут являться сервисы синхронизации различных классификаторов нормативно-справочной информации, а также реестров материально-технического обеспечения.

В работе проанализированы наиболее популярные подходы к проектированию архитектуры ПО высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем, а также способы взаимодействия составных частей данных систем между собой. Наглядно показана возможность применения брокера сообщений *Apache Kafka* для синхронизации данных.

Осуществлено функциональное тестирование и моделирование конечного приложения. Выполнен анализ полученных результатов и представлен выбор наилучшей конфигурации настроек компонентов высокопроизводительных реконфигурируемых вычислительных систем для выполнения задачи, а именно установлен рост производительности обработки при установке количества сообщений в пакете кратным количеству потоков обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- ГОСТ Р 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры. - 52 с.
- Кратчен Ф. Введение в Rational Unified Process. 2-е изд. М.: Вильямс, 2002. - 240 с.
- Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. — СПб.: Питер, 2019. - 544 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).
- Smid A., Wang R., Cerny T. Case study on data communication in microservice architecture //Proceedings of the Conference on Research in Adaptive and Convergent Systems. – 2019. – С. 261-267.
- Равал С., Децентрализованные приложения. Технология Blockchain в действии. - СПб.:Питер, 2017. — 240 с.
- Gadea C. et al. A reference architecture for real-time microservice api consumption //Proceedings of the 3rd Workshop on CrossCloud Infrastructures & Platforms. – 2016. – С. 1-6.
- Stubbs J., Moreira W., Dooley R. Distributed systems of microservices using docker and serfnode //2015 7th International Workshop on Science Gateways. – IEEE, 2015. – С. 34-39.
- Laigner R., Zhou Y., Salles M. A. V. A distributed database system for event-based microservices //Proceedings of the 15th ACM International Conference on Distributed and Event-based Systems. – 2021. – С. 25-30.
- Dinh-Tuan H., Beierle F., Garzon S. R. MAIA: a microservices-based architecture for industrial data analytics //2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS). – IEEE, 2019. – С. 23-30.
- Son S. C. et al. LwM2M based IoT Microservice Model with Replicas Synchronization Technique //2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). – IEEE, 2020. – С. 1802-1804.
- Raje Sanika, "Performance Comparison of Message Queue Methods" (2019). UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones. 3746.
- Нархид Н., Шапира Г., Палино Т., Apache Kafka. Поточковая обработка и анализ данных. — СПб.: Питер, 2019. — 320 с.
- Hicham R., Anis B. M. Processes meet Big Data: Scaling process discovery algorithms in Big Data environment //Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences. – 2021.
- Москвичева К. С., Долгачев М. В. Бумажная промышленность: Kafka против RabbitMQ. Сравнительное исследование двух отраслевых эталонных реализаций publish/subscribe //Форум молодёжной науки. – 2020. – №. 4. – С. 3-17.
- Thein K. M. M. Apache kafka: Next generation distributed messaging system //International Journal of Scientific Engineering and Technology Research. – 2014. – Т. 3. – №. 47. – С. 9478-9483.
- Le Noac'H P., Costan A., Bougé L. A performance evaluation of Apache Kafka in support of big data streaming applications //2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data). – IEEE, 2017. – С. 4803-4806.
- Бауэр К., Кинг Г., Грегори Г., Java Persistence API и Hibernate / пер. с англ. Д. А. Зинкевича; под науч. ред. А. Н. Киселева. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 632 с.: ил.
- Stärk R. F., Schmid J., Börger E. Java and the Java virtual machine: definition, verification, validation. – Springer Science & Business Media, 2012.
- Мартин Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения. — СПб.: Питер, 2018. — 352 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»).
- Deinum M. Java Enterprise Services //Spring Boot 2 Recipes. – Apress, Berkeley, CA, 2018. – С. 239-256.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-00110, <https://rscf.ru/project/21-71-00110/>.

Статья поступила в редакцию 04.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 663.443.1; 663.443.49

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0009

**САПОНИНЫ В КОРНЯХ *CODONOPSIS JAVANICA* (BLUME) HOOK.F. & THOMSON,
ВЫРАЩЕННОГО В РАЗНЫХ РАЙОНАХ ВЬЕТНАМА
И АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ**

© 2022

Табакеева Оксана Вацлавовна, доктор технических наук, доцент,
профессор Департамента пищевых наук и технологий Института наук о жизни и биомедицины
Буй Зань Чунг, аспирант Института наук о жизни и биомедицины
Дальневосточный федеральный университет
(690000, Россия, Приморский край, г. Владивосток, п. Аякс, 10,
e-mails: yankovskaya68@mail.ru, danhchungbui@gmail.com)

Аннотация. Представлены результаты исследования содержания сапонинов в водно-спиртовых экстрактах корня *C. javanica*, выращенного в разных районах Вьетнама и антирадикальной активности экстрактов. Проведенными исследованиями установлено, что максимальное содержание сапонинов в корнях *C. javanica* характерно для корней возрастом 3 года, данные соединения относятся к группе стероидных. Корни *C. javanica*, выращенные в различных районах Вьетнама, характеризуются различным содержанием сапонинов, максимальное содержание определено в корнях из района Таунжанг. Водно-спиртовые экстракты корней *C. javanica* характеризуются высокой антирадикальной активностью, зависящей от содержания сапонинов. Максимальную антирадикальную активность проявляет экстракт корней *C. javanica* возрастом 3 года при концентрации 1000 $\mu\text{г/мл}$. Результатами демонстрируется взаимосвязь антирадикальной активности и содержания сапонинов в экстракте корней *C. javanica*, увеличение концентрации приводит к повышению антирадикальной активности.

Ключевые слова: сапонины, экстракт, *C. javanica*, антирадикальная активность.

**STUDY OF CHANGES IN THE AMOUNT OF SAPONINS IN THE ROOTS OF *CODONOPSIS JAVANICA*
(BLUME) HOOK.F. & THOMSON GROWN IN DIFFERENT AREAS OF VIETNAM**

© 2022

Tabakaeva Oksana Vatslavovna, doctor of technical sciences, associate professor,
professor of the department of Food Sciences and Technologies of the Institute of Life Sciences and Biomedicine Far
Bui Zan Chung, postgraduate student of the Institute of Life Sciences and Biomedicine
Eastern Federal University
(690000, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, Ajax, 10,
e-mails: yankovskaya68@mail.ru, danhchungbui@gmail.com)

Abstract. The results of a study of the saponin content in water-alcohol extracts of *C. javanica* root grown in different regions of Vietnam and the antiradical activity of the extracts are presented. The conducted studies have established that the maximum saponin content in the roots of *C. javanica* is characteristic of roots aged 3 years, these compounds belong to the steroid group. The roots of *C. javanica* grown in different areas of Vietnam are characterized by different saponin content, the maximum content is determined in the roots from the Taunjang area. Water-alcohol extracts of the roots of *C. javanica* are characterized by high antiradical activity, depending on the content of saponins. The maximum antiradical activity is shown by the extract of *C. javanica* roots aged 3 years at a concentration of 1000 $\mu\text{g/ml}$. The results demonstrate the relationship between antiradical activity and saponin content in *C. javanica* root extract, an increase in concentration leads to an increase in antiradical activity.

Keywords: saponins, extract, *C. javanica*, antiradical activity.

Введение. Растительное сырье является поликомпонентным, характеризуется широким спектром веществ различного химического состава. В различных частях растений активно накапливаются вторичные метаболиты, как азотистые, так и безазотистые, в частности сапонины, являющиеся сложными веществами. Сапонины обладают поверхностно-активными свойствами, что позволяет их растворам образовывать густую стойкую пену при механическом воздействии. Растительные сапонины часто состоят из агликона (сапогенина) и углеводной части. Благодаря наличию этих 2 групп, сапонины обладают поверхностной активностью. Химическая природа агликона определяет деление сапонинов на 2 группы – тритерпеновые и стероидные. Тритерпеновые сапонины составляют

большую часть соединений данного класса, представленного в растениях [1].

Влияние сапонинов на организм человека может быть существенно разным и зависит от их химического состава и структуры. Отдельные представители являются достаточно эффективными гиполипидемическими средствами и используются в медицине при комплексном лечении сердечно-сосудистых заболеваний [2, 3]. Несмотря на определенные ограничения в использовании, необходимо отметить достаточно активное применение сапонинов в пищевых технологиях. Известные функционально-технологические свойства сапонинов позволяют применять их для формирования структуры продуктов, в частности для эмульгирования, пенообразования, солубилизации

при производстве алкогольных пенных напитков и различных кондитерских изделий [4].

Во Вьетнаме широко распространено растение *Codonopsis javanica (blume) Hook.f. & Thomson*, корни которого относятся к лекарственному сырью. В корнях *C. javanica* содержатся определенные количества сапонинов, в среднем на уровне 6% [5]. Однако, накопление сапонинов в корнях растений зависит от многих факторов, в основном таких как: географические, почвенные и возрастные.

Таужанг, Контум и Далат – это основные районы, где выращиваются лекарственные растения в Южной части Вьетнама, в том числе и *C. javanica*. Однако, данные районы имеют определенные различия климатических условиях, конкретно – количество осадков и количество солнечного света, что может влиять на накопление содержания сапонинов в корнях *C. javanica*.

Цель исследования – определение содержания сапонинов в водно-спиртовых экстрактах корня *C. javanica*, выращенного в разных районах Вьетнама и антирадикальной активности экстрактов.

Материалы и результаты исследования. Для изучения накопления сапонинов в корнях, выращенных в разных районах Вьетнама (Таужанг, Контум и Далат), летними сезонами 2019 и 2020 гг, было собрано около 180 кг корней *C. javanica*.

Поскольку накопление сапонинов существенно зависит от размера, возраста и места выращивания растительного сырья, в данной работе целенаправленно отбирали объекты для исследования, удовлетворяющие следующим требованиям – вес корней 250-300 г, возраст корней (1 группа – 2 года, 2 группа – 3 года, 3 группа – 4 года). Объекты после сбора сортировали по возрасту, взвешивали и высушивали естественным образом в тени. Затем 1 г высушенных корней *C. javanica* измельчали в ультразвуковой мельнице (RETSCH ZM 200, Германия). Полученные порошки переносили в экстрактор, экстрагентом являлся раствор 70% изопропилового спирта в воде. При внесении экстрагента применяли тщательное перемешивание. Экстрагирование в ультразвуковой бане проводили 40 мин, температура 25-30°C (190 Вт, 35 кГц). Полученный экстракт центрифугировали 5 мин при 16000 об/мин. Путем добавления 2 порций свежего экстрагента (по 2 мл) к остаткам объекта на фильтре проверяли полноту осаждения. Затем повторно проводили экстрагирование. На следующем этапе проводили фильтрование с использованием пористого фильтра диаметром пор 0,45 мкм. Полученные образцы хранили в холодильнике при температуре 4°C не более 4 дней.

Количественное определение сапонинов в настоящее время является сложной задачей, так как все еще нет однозначных, общеприменяемых методов. Активно применяются различные физико-химические и химические методы, такие как гравиметрия, титриметрия и фотометрия. Оптические методы анализа, в частности колориметрия и спектрофотометрия используются наиболее часто. Сапонины и их

окрашенные комплексы способны поглощать монохроматический свет определенной длины волны, что используется при спектрофотометрическом методе количественного определения содержания [6-8].

Для различения стероидных от тритерпеновых сапонинов использовали реакцию, протекающую между ванилином и сильной неорганической кислотой и генином. Образовавшиеся продукты реакции являются окрашенными и максимально поглощают свет при длине волны 510-620 нм. Взаимодействие продукта с альдегидами в результате реакции дегидратации обеспечивает розовато-лиловый цвет за счет появления ненасыщенной этиленовой группы [9].

Экспериментальное определение длины волны проводили следующим образом: 2,0 мл раствора в мерной колбе на 25 мл разбавляли 95% этиловым спиртом, получая раствор А. В отобранный полученный раствор объемом 1,0 мл добавляли концентрированную серную кислоту объемом 4,0 мл, затем осуществляли нагревание на кипящей водяной бане с постоянным перемешиванием в течение 15 мин. Затем раствор охлаждали и измеряли светопоглощение с использованием испытуемого раствора на спектрофотометре «UV-1800» («Shimadzu», Япония) в кюветках $l=10$ мм при 25°C, $\lambda = 190-690$ нм.

Количественное содержание сапонинов оценивали спектрофотометрическим методом. Сапонины из навески экстрагировали водой, затем смесью хлороформ – этиловый спирт 95% (5:1). Светопоглощение измеряли на сканирующем спектрофотометре «UV-1800» («Shimadzu», Япония), $\lambda = 490$ нм [10].

ДФПГ радикал анализ. Способность взаимодействовать со стабильным свободным 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (ДФПГ) радикалом являлась оценкой антирадикальной активности экстрактов. Реакционная смесь состояла из 0,3 мМ ДФПГ в этаноле, 50 мМ трис-НСI-буфера, рН 7,4, и исследуемого экстракта [11].

Для количественного прохождения реакции смесь инкубировали при 25°C в течение 30 мин. Затем проводили измерение светопоглощения при $\lambda = 517$ нм на сканирующем спектрофотометре «UV-1800» («Shimadzu», Япония), используемые кюветы $l=10$ мм.

Радикалсвязывающую активность (РСА) рассчитывали по формуле

$$PCA (\%) = [A_0 - A_1] / A_0 \cdot 100, \quad (1) [11]$$

где A_0 – оптическая плотность раствора контроля;

A_1 – оптическая плотность экстракта;

На первом этапе исследований определяли группу сапонинов в экстракте корней *C. javanica* из района Таунжанг методом спектрофотометрии. Спектр поглощения стандартного раствора стероидного сапонины и экстракта корней *C. javanica* представлен на рисунке 1. Данные спектра позволили определить рабочую длину волны – 550 нм, дальнейшие исследования проводили при данной волне. Исходя из рисунка 1 сапонины в экстракте, полученном из корней *C. javanica* района Таужанг по результатам светопоглощения принадлежат к группе стероидных.

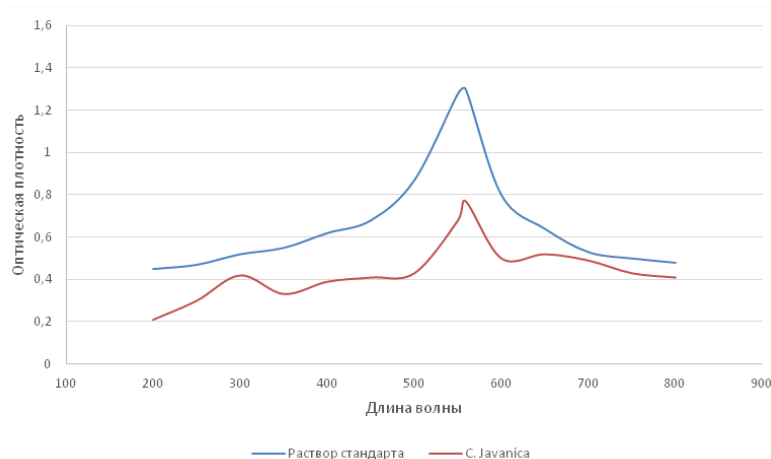


Рисунок 1 – Спектр поглощения стандартного раствора стероидного сапонина (Biobasic, Канада) и экстракта корней *C. javanica* район Таужанг

Следующим этапом было определение содержания сапонинов в экстрактах корней *C. javanica* различного возраста из разных районов Вьетнама. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание сапонинов в экстрактах корней *C. javanica* из разных районов Вьетнама

Возраст	Количество сапонинов в экстракте, мкг/мл		
	<i>C. javanica</i> района Таужанг	<i>C. javanica</i> . района Контум	<i>C. javanica</i> . района Далат
2 года	3,45	3,93	2,21
3 года	4,78	4,44	3,75
4 года	4,74	4,04	3,78

Представленные в таблице 1 данные показывают, что максимальное количество сапонинов в корнях *C. javanica* накапливается в возрасте 3-х лет, на 4-й год содержание незначительно снижается. Известно, что *C. javanica* имеет жизненный цикл до 4-5 лет. Возможно, именно на периоде третьего года развития накапливается максимальное количество сапонинов и происходит приостановление роста корней, а на 4 и 5-ом годах растение постепенно погибает. Количество сапонинов в корнях *C. javanica* района Таужанг, выше чем в корнях *C. javanica* районов Контум или Далат. Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Таужанг оптимальные условия для выращивания *C. javanica*, так как суммарное среднегодовое количество осадков достигает от 2800 до 3400 мм, среднегодовая температура колеблется в пределах 14,0 – 18,0°C, среднегодовой объем испарения от 670 – 770 мм, средняя влажность довольно высокая, от 85,5 до 87,5%, затемнение до 70%. Для дальнейших исследований выбран экстракт корней *C. javanica* района Таужанг.

Присутствие сапонинов в экстрактах корней *C. javanica* может обеспечивать им способность к поглощению свободных радикалов. Разнообразная био-

логическая активность сапонинов напрямую связана со строением их составляющих каркасов, агликонов и углеводных частей. Стероидные сапонины имеют широкий спектр фармакологических применений, включая использование в качестве отхаркивающих средств и ингибирования агрегации тромбоцитов, а также обладают гемолитическими, инсектицидными, противовоспалительными, противоопухолевыми, антидиабетическими, противогрибковыми, антибактериальными, противопаразитарными, антигиперлипидемическими и антиоксидантными свойствами [12-15]. Также они обеспечивают иммуномодулирующий эффект путем активации иммунного ответа на антигены, действуют как адъюванты, которые улучшают эффективность перорально вводимых вакцин, облегчая абсорбцию больших молекул [16]. Также сапонины идентифицированы как индукторы гибели клеток. Процесс гибели клеток необходим для поддержания клеточного и тканевого гомеостаза, поскольку нарушение баланса между клеточной пролиферацией и гибелью клеток приводит к нескольким патологиям, включая рак. Во многих исследованиях показано, что содержание стероидных сапонинов тесно связано с антиоксидантной активностью [17-19].

На следующем этапе провели исследование антирадикальной активности экстракта корней *C. javanica* по способности поглощения свободного радикала ДФПГ. Использованные концентрации экстрактов – 31,25; 62,5; 125,0; 250,0; 500,0 и 1000,0 мкг/мл. В качестве раствора сравнения использована аскорбиновая кислота. Способность экстракта корней *C. javanica* ингибировать свободные радикалы представлена в таблице 2. Полученные данные демонстрируют, что максимально высокую антирадикальную активность проявляет экстракт корней *C. javanica* возрастом 3 года, при концентрации 1000 мкг/мл она достигает 96,82%.

Таблица 2 – Антирадикальная активность экстракта корней *C. javanica* района Таужанг

Возраст корней	Содержание сапонинов мкг/мл	Антирадикальная активность (%) при концентрации мкг/мл				
		1000	500	250	62.5	31.25
2 года	3.45	65,23 ± 1,1	53,61 ± 2,7	32,83 ± 2,6	27,34 ± 1,9	15,17 ± 2,0
3 года	4.78	96,82 ± 4,3	83,45 ± 3,3	72,94 ± 1,4	67,17 ± 1,6	45,35 ± 1,5
4 года	4.74	95,61 ± 2,1	81,55 ± 3,3	69,89 ± 4,9	52,63 ± 3,1	40,05 ± 2,6

Максимальную антирадикальную активность продемонстрировал экстракт корней *C. javanica* возрастом 3 года концентрация 1000 $\mu\text{г/мл}$, минимальную – экстракт корней *C. javanica* возрастом 2 года концентрация 31,25 $\mu\text{г/мл}$. С увеличением концентрации экстракта корней *C. javanica* антирадикальная активность также возрастает. По результатам исследования можно сказать, что количество сапонинов в экстракте корней *C. javanica* имеет достаточно тесную связь с антирадикальной активностью. Данные таблицы 2 доказывают, что при возрастании содержания сапонинов растёт и антирадикальная активность экстракта.

Полученные результаты антиоксидантного действия экстракта корней *C. javanica* аналогичны результатам, полученными другими учеными для видов того же рода *Codonopsis*. Так, установлено, что экстракты *Codonopsis lanceolata*, полученные под высоким давлением и ферментации паром проявляют высокие антиоксидантные свойства [20]. Путём изучения ингибирования *iNOS* и окисления белков выявлено, что метанольный экстракт *Codonopsis pilosula* обладает выраженным антиоксидантным действием *in vivo*. Изучены противодиабетические и антиоксидантные эффекты комбинации *SR10*, в которую входит экстракт корней астрагали, корней *Codonopsis* и *Cortex Lycii*, на модели мышей с диабетом. Результаты показали, что *SR10* эффективен в снижении уровня сахара в крови при хроническом лечении за счёт улучшения функции бета-клеток. Кроме того, *SR10* не оказывал токсического воздействия на организм [21].

Заключение. Проведёнными исследованиями установлено, что максимальное содержание сапонинов в корнях *C. javanica* накапливается в период 3 года после посадки, данные соединения относятся к группе стероидных. Корни *C. javanica*, выращенные в различных районах Вьетнама характеризуются различным содержанием сапонинов, наиболее богаты растения из района Таунжанг. Водные экстракты корней *C. javanica* характеризуются высокими антиоксидантными свойствами, зависящими от содержания сапонинов. Максимальную антирадикальную активность проявляет экстракт корней *C. javanica* возрастом 3 года при концентрации 1000 $\mu\text{г/мл}$, что выше антирадикальной активности аскорбиновой кислоты концентрации 50 $\mu\text{г/мл}$ на 11,14%. Количество сапонинов в экстракте корней *C. javanica* имеет достаточно тесную связь с антирадикальной активностью, при возрастании содержания сапонинов растёт и антирадикальная активность экстракта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горовиц М. Б., Сапонины // Химическая энциклопедия, т. Т. 4, Полимерные, Ред., М.: Трипсин, 1995, р. С. 292—294.
2. Attele A. S., Wu J. A., Yuan C. S. Ginseng pharmacology: Multiple constituents and multiple actions // Biochem. Pharmacol. 1999. Vol. 58. № 11. P. 1685—1693.
3. Sparg S. G., Light M. E., van Staden J. Biological activities and distribution of plant saponins // J. Ethnopharmacol. 2004. Vol. 94. № 2–3. P. 219–243.
4. Щекалёва Р. К, Черевач Е. И. Разработка технологии безалкогольных напитков эмульсионного типа с использованием биоресурсов Дальнего Востока // Наука и образование:

сохраняя прошлое, создаём будущее Пенза: 05 февраля 2019 г: Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. 2019. С. 100-103.

5. Vincken J P, Heng L, de Groot A, Gruppen H., «Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom.» Phytochemistry, 2007. V. 68, p. 275–297.

6. Георгиевский В.П., Комиссаренко П. Ф., Дмитрук С.Е., «Биологически активные вещества лекарственных растений.» Наука, 1990. 333 с.

7. Арзамасцев А. П. и др., Анализ лекарственных смесей : учеб. пособие для студ. фарм. ин-тов и фарм. фак. мед. вузов, М.: Компания Спутник, 2000. 275 с..

8. Аксёнова Э.Н., Андриянова О.Н., Арзамасцев А.П. и др. , Руководство к лабораторным занятиям. По фармацевтической химии : учебное пособие, 2-е изд. ред., п. р. А. Арзамасцева, Ред., М.: ГЭОТАР-Медиа., 2005.-640 с.

9. Плетенёва Т.В., Успенская Е.В., Мурадова Л.И., Контроль качества лекарственных средств: учебник для медицинских училищ и колледжей, п. р. Т. Плетенёвой, Ред., М.: «ГЭОТАР-Медиа», 2014, 546 с.

10. Заркуа, Т.Г. Количественное определение сапонинов в многокомпонентной растительной композиции / Т.Г. Заркуа, Д.М. Попов, А.Д. Бакуридзе // Научные труды ВНИИФ «Современные аспекты изучения лекарственных растений».– Москва. 1995.– С. 177.

11. Utkina N.K., Pokhilo N.D. Free radical scavenging activities of naturally occurring and synthetic analogues of sea urchin naphthazarin pigments // Nat. Prod. Commun. – 2012. – Vol. 7, N 7. – P. 901–904

12. Zhu L, Tan J, Wang B, Guan L, Liu Y, Zheng C. , «In-vitro antitumor activity and anti-fungal activity of pennogenin steroidal saponins from *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*,» Iran J Pharm Res, 2011. V.10(2), p. 279–286.

13. Sparg SG, Light ME, van Staden J. , «Biological activities and distribution of plant saponins. J.» Ethnopharmacology, 2004. V.94, p. 219–243.

14. Hongmei Zhang, Quancheng Zhou, «Tyrosinase Inhibitory Effects and Antioxidative Activities of Saponins from *Xanthoceras Sorbifolia* Nutshell,» PLOS ONE, 2013, V.6(3), p.325-331..

15. Mikhail Olugbemiro Nafiu, Anofi Omotayo Tom Ashafa, «Antioxidant and inhibitory effects of saponin extracts from *Dianthus basuticus* Burt Davy on key enzymes implicated in type 2 diabetes In vitro,» Department of Plant Sciences, Phytomedicine and Phytopharmacology Research Group, University of the Free State, Phuthaditjhaba 9866, South Africa, 2017, V. 13(52), pp. 576-582.

16. Nguyen Thi Thuy, Ngo Ha Linh Trang, Nguyen Thi Thanh Binh, Bui Thanh Tung, «Evaluation of Antioxidant and α -glucosidase Inhibitory Activities of *Codonopsis javanica* (Blume) Hook. f. Thoms' Root Extract,» VNU Journal of Science: Medical and Pharmaceutical Sciences, 2020, V.36(3), pp. 57-65.

17. Challinor VL, De Voss J J., «Open-chain steroidal glycosides, a diverse class of plant saponins.» Nat Prod Rep, 2013. V.30, p. 429–454.

18. N. Huong, «Suppressive Effects of Vietnamese Ginseng Saponin and Its Major Component Majoroside-R2 on Psychological Stress-Induced Enhancement of Lipid Peroxidation in the Mouse Brain.» Pharmacology Biochemistry and Behavior, 2016. V.5(3), p.125-130.

19. Sang-Min Jeon, So-Young Kim, In-Hye Kim, «Antioxidant activities of processed Deoduck (*Codonopsis lanceolata*) extracts,» Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2013, V.42(6), pp. 924-932.

20. Chang-Seon Yoo và Sung-Jin Kim , «Methanol extract of *Codonopsis pilosula* inhibits inducible nitric oxide synthase and protein oxidation in lipopolysaccharide-stimulated raw cells,» Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2013. V.12(5), 705-710.

21. Judy Yuet-Wa Chan, Fung-Chun Lam, Ping-Chung Leung , «"Antihyperglycemic and antioxidative effects of a herbal formulation of *Radix Astragali*, *Radix Codonopsis* and *Cortex Lycii* in a mouse model of type 2 diabetes mellitus",» Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives, № 23(5), pp. 658-665, 2009.

Статья поступила в редакцию 16.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 666.9.017

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0010

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЗАВТРАКА

© 2022

Устинова Юлия Владиславовна, кандидат технических наук, доцент**Шевченко Татьяна Викторовна**, доктор технических наук, профессор**Попов Анатолий Михайлович**, доктор технических наук, профессор*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6,**e-mails: yul48888048@yandex.ru, tatyana.shevchenko.1948@mail.ru, popov4116@yandex.ru)***Узунов Глеб Борисович**, научный сотрудник Московского института стали и сплавов*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС**(119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1, e-mail: uzunovgleb@edu.misis.ru)*

Аннотация. Механическое воздействие на гранулы представляет собой динамический процесс, при котором гранулы непрерывно формируются и разрушаются образуя энергию передаваемой от одной гранулы к другой в момент их столкновения. Тем не менее, грануляция сопряжена с многочисленными проблемами из-за требований к качеству формируемых гранул с точки зрения однородности содержимого и физико-химических свойств, таких как размер гранул, насыпная плотность, пористость, твердость, влажность, прессуемость. Проведены эксперименты по определению прочностных характеристик гранул быстрорастворимых завтраков при определенной влажности. Выявлено, что механическая прочность повышается для сырых $W = 10-12\%$ и сухих гранул $W = 5-5,5\%$. Изучено влияние изменения влажности в процессе сушки на механическую прочность гранул быстрорастворимого завтрака. За счет повышения содержания влаги в грануляте прочность гранул уменьшается. При определении скорости проникновения воды в гранулы завтрака изучалась пористость инстантированного гранулированного продукта. Исследование зависимости пористости гранулированного завтрака от гранулометрического состава показало, что с увеличением диаметра гранул наблюдается уменьшение их пористости. Подобран оптимальный диаметр гранул для производства быстрорастворимого завтрака, который должен находиться в интервале от 0,5 до 2,5 мм. В интервале 1,0-2,0 мм диаметра гранул большая часть находится в способе с активатором, который способствует в 3-5 раз снизить время гранулирования в тарельчатом грануляторе. С увеличением влажности гранулированного завтрака до 10% значения коэффициентов трения плавно возрастают. Зависимость пластической прочности от влагосодержания смеси для гранулированного завтрака определяются не только содержанием жидкой фазы (влаги), но и характером связи влаги с твердой фазой.

Ключевые слова: гранулы, пористость, структура, прочность, быстрорастворимый завтрак.

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GRANULATED BREAKFAST

© 2022

Ustinova Yulia Vladislavovna, candidate of technical sciences, associate professor**Shevchenko Tat'yana Viktorovna**, doctor of technical sciences, professor**Popov Anatoly Mikhaylovich**, doctor of technical sciences, professor*Kemerovo state University**(650000, Russia, Kemerovo, street Krasnaya, 6,**e-mails: yul48888048@yandex.ru, tatyana.shevchenko.1948@mail.ru, popov4116@yandex.ru)***Uzunov Gleb Borisovich**, researcher at the Moscow Institute of Steel and Alloys*National Research Technological University "MISIS"**(119049, Moscow, Leninsky Prospekt, 4, p. 1, e-mail: uzunovgleb@edu.misis.ru)*

Abstract. Mechanical action on pellets is a dynamic process in which pellets are continuously formed and destroyed forming energy transferred from one pellet to another at the moment of their collision. Nevertheless, granulation is fraught with numerous problems due to the requirements for the quality of the formed granules in terms of the uniformity of the contents and physico-chemical properties, such as granule size, bulk density, porosity, hardness, humidity, and persistence. Experiments were carried out to determine the strength characteristics of granules of instant breakfast at a certain humidity. It was found that the mechanical strength increases for raw $W = 10-12\%$ and dry granules $W = 5-5.5\%$. The influence of humidity changes in the drying process on the mechanical strength of instant breakfast granules has been studied. By increasing the moisture content in the granulate, the strength of the granules decreases. When determining the rate of penetration of water into breakfast granules, the porosity of the instant granulated product was studied. The study of the dependence of the porosity of granulated breakfast on the granulometric composition showed that with an increase in the diameter of the granules, a decrease in their porosity is observed. The optimal diameter of granules for the production of instant breakfast has been selected, which should be in the range from 0.5 to 2.5 mm. In the range of 1.0–2.0 mm of the diameter of the granules, most of them are in the method with an activator, which helps to reduce the granulation time in the poppet granulator by 3-5 times. With an increase in the humidity of the granulated breakfast to 10%, the values of the friction coefficients gradually increase. The dependence of plastic strength on the

moisture content of the granulated breakfast mixture is determined not only by the content of the liquid phase (moisture), but also by the nature of the connection of moisture with the solid phase.

Keywords: granules, porosity, structure, strength, instant breakfast.

Введение. Грануляция – это процесс увеличения размера, при котором мелкие частицы объединяются в более крупные, физически прочные агломераты [1]. Улучшаются характеристики сжатия и растворения гранул, внешний вид продукта, что может иметь важное значение в пищевой промышленности при производстве быстрорастворимых завтраков [2-4].

Гранулы производятся для повышения однородности в конечном продукте, для увеличения плотности смеси, чтобы она занимала меньший объем на единицу веса для лучшего хранения и транспортировки. Следовательно, идеальные характеристики гранул включают сферическую форму для улучшения потока, узкое распределение частиц по размеру для однородности содержимого и объемного дозирования, достаточную мелкодисперсность для заполнения пустотных пространств между гранулами для лучшего уплотнения и характеристик сжатия, а также достаточную влажность и твердость для предотвращения разрушения [5-7].

Процесс грануляции может быть как сухим, так и влажным. Сухое гранулирование включает механическое уплотнение (прессование) с последующим процессом калибровки, в то время как для влажного гранулирования используется жидкое связующее. Существуют методы влажного гранулирования: с высоким сдвигом и гранулирование в псевдооживленном слое [8-9].

Влажное гранулирование – это единичная операция, при которой мелкие первичные дисперсные материалы (порошки, зерна и т.д.) агломерируются благодаря жидкому связующему для получения более крупных гранул [10]. Этот процесс можно разделить на несколько этапов. После смешивания частиц основного ингредиента в сухую смесь добавляют жидкое связующее, которое можно распылять непосредственно на сухие ингредиенты. Смоченные частицы связывают другие частицы, образуя ядра. Из-за контакта с другими ядрами, стенкой гранулятора или другими частями гранулятора (например, измельчителем или перегородками) ядро может деформироваться или уплотняться. Два ядра могут сливаться, когда материал деформируется. Уплотнение обеспечивает движение жидкости к поверхности, которая необходима для связывания других частиц [11-13]. При влажном гранулировании можно использовать множество методов и различные типы оборудования.

Рост гранул при влажном гранулировании с высокой скоростью сдвига представляет собой динамический процесс, при котором гранулы непрерывно формируются и разрушаются. Известно, что различными механизмами, участвующими во влажной грануляции, являются увлажнение и образование зародышей; консолидация и рост; а также разрушение и истирание [14].

Перемещение гранулируемого продукта по по-

верхности барабанного аппарата необходимо для проведения процесса окатывания. Пищевой продукт в виде порошка поступает во вращающийся аппарат и обрабатывается связующей жидкостью. Приобретая необходимую плотность, смоченные частички агломерируются и окатываются. Окатывание относят к разновидности структурной грануляции, образуя окатыши в виде измельченных комочков сферической формы [15-17].

Существует четыре механизма процесса грануляции, такие как смачивание, образование окатышей, слияние или рост, уплотнение или разрушение гранул. Начальное смачивание исходного порошка пищевой продукции связующей жидкостью зависит от скорости распыления. Смачивание способствует образованию окатышей мелкодисперсных порошков. На стадии слияния или роста частично увлажненные частицы сливаются, образуя гранулы. Процесс образования окатышей тесно связан со стадией смачивания. По мере роста гранул они уплотняются. Стадия уплотнения контролирует внутреннюю пористость и прочность гранул. Сформированные гранулы могут быть восприимчивы к истиранию, если они имеют слабую связь или во время сушки образуются дефекты [18-20].

Цель исследований – провести оценку механической прочности и определить пористость с использованием активатора гранул быстрорастворимого завтрака.

Объектами исследований являлись сухие и влажные гранулы быстрорастворимого сухого завтрака, в качестве гранулирующей жидкости использовалась дистиллированная вода. В процессе разработки рецептуры сухого быстрорастворимого завтрака в качестве основного сырья использовались: мука овсяная, яблоки сушеные, концентрат сывороточных белков, модифицированный крахмал картофельный, сахарная пудра, витаминный премикс (ВП 77-14).

Материалы и результаты исследований. В работе использовали бюретку объемом 2 мл с ценой деления 0,02 мл, колбу объемом 100 мл с плотно закрытой резиновой пробкой для изучения пористости гранулированного завтрака. Гранулы опускают и немедленно закрывают пробкой в бюретку, заполненную дистиллированной водой. Вода в бюретке поднимается до определенного уровня и остается неизменным при удалении воздуха. При заполнении пористой гранулы уровень воды в бюретке меняется. Для определения прочности гранул на устройстве была проведена оценка их прочности на сжатие. Метод определения заключается в следующем: гранулу помещают между держателем и чашкой, фракцию высыпают в чашку и измельчают гранулят. Затем фракцию взвешивают на весах и определяют нагрузку в кг [21].

Для определения механической прочности ис-

пользовали образцы быстрорастворимых завтраков с рабочей влажностью сырых гранул $W=10-12\%$, сухих $W=5-5,5\%$. На рисунке 1 представлена зависимость механической прочности от размера гранул при определенной влажности.

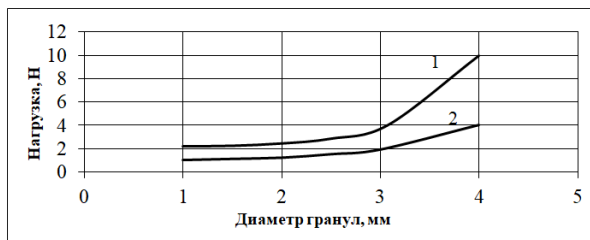


Рисунок 1 – Прочность гранул при механической нагрузке
1 – для сухих гранул ($W = 5\%$);
2 – для влажных гранул ($W = 12\%$)

Механическая прочность повышается, за счет уплотнения крупных агломератов при гранулировании. Гранулы, располагаясь более компактно в гранулируемом материале удаляют частицы привязанных к грануле. За счет ударов лопастей активатора смешиваемые материалы ударяются о стенки смесителя изменяя поверхностный слой смеси.

Нами проведены испытания прочности гранул высушенных гранул диаметром 2 мм на нагрузку (рис. 2).

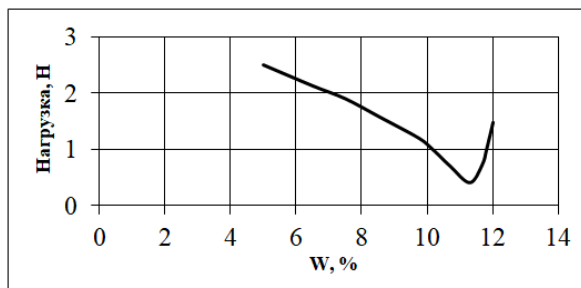


Рисунок 2 – Влияние изменения влажности в процессе сушки на механическую прочность гранул быстрорастворимого завтрака

Из графика рисунка 2 видно, что происходит значительное уменьшение прочности гранул. Структура гранул при поглощении паров воды меняется за счет повышения содержания влаги в грануляте. Входящий в состав гранулированного завтрака крахмал и сахарная пудра поглощает влагу. Белок, за счет перехода в аморфное состояние также изменяет влагу в грануляте.

Уменьшение пористости происходит за счет растворения сахарной пудры и увлажнения гранулированных завтраков. В работе изучали скорость проникновения воды в гранулы завтрака для исследования динамики изменения пористости.

На рисунке 3 представлены результаты значений коэффициентов пористости, где с увеличением диаметра гранул наблюдается уменьшение их пористости.

Выявлен оптимальный диаметр гранул, который должен находиться в интервале от 0,5 до 2,5 мм. Увеличение пористости, проявляемое более крупными гранулами, может быть объяснено наличием больших пустот, особенностью, характерной для более

крупных частиц, и ограниченной площадью поверхности, доступной для соединения между частицами. Вероятно, это является причиной того, что пористость полученных компактов была относительно высокой по сравнению с более мелкими гранулами.

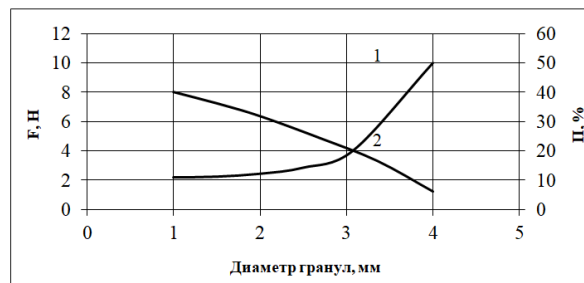


Рисунок 3 – Значение коэффициентов пористости от гранулометрического состава завтрака:
1 – прочность гранул на раздавливание;
2 – пористость

С помощью метода ситового анализа определяли гранулометрический состав, в котором число фракций соответствует числу сит. Рисунки 4 и 5 отображают фракционный гранулята завтрака.

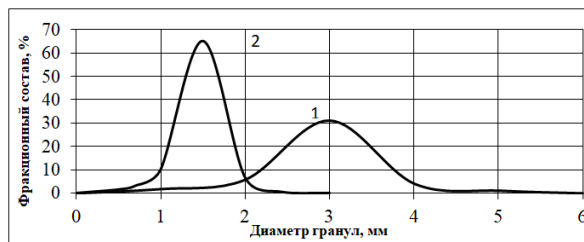


Рисунок 4 – Распределение гранул быстрорастворимого завтрака по размерам:
1 – способ без активатора; 2 – способ с активатором

В интервале 1,0–2,0 мм диаметра гранул большая часть находится в способе с активатором. Кривые в виде низкой и высокой формы указывают на монодисперсность полученного гранулята.

Преобладание различных фракций изображено на кумулятивной кривой распределения гранул (рис. 5). По кривой устанавливают какой процент гранул имеет размеры от d_{min} до d_i .

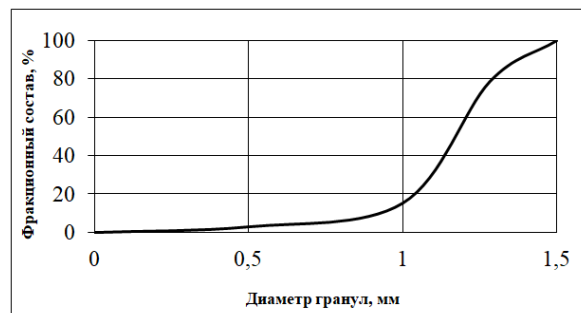


Рисунок 5 – Распределение гранул быстрорастворимого завтрака на фракции

В тарельчатом грануляторе, при наличии активатора и прочих равных условиях, снижается время гранулирования в 3–5 раз. Образование гранул класса менее

2,5 мм возрастает до 90-95%.

При среднем диаметре гранул 1,5 мм – 700-900 кг/м³ определена насыпная плотность исследуемого продукта. Насыпная плотность увеличивается с 850 кг/м³ до 950 кг/м³ при изменении размера гранул (рис. 6).

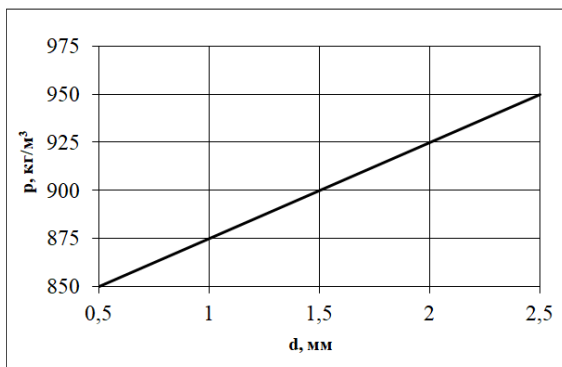


Рисунок 6 – Зависимость размера гранул от насыпной плотности продукта

Изменение коэффициента трения быстрорастворимого гранулированного завтрака в зависимости от влажности представлено на рисунке 7.

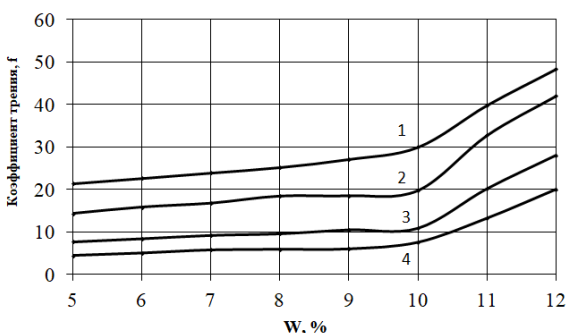


Рисунок 7 – Изменение коэффициентов внутреннего (1) и внешнего трения по транспортной резине (2), фторопласту (3) и стали (4) в зависимости от влажности гранул быстрорастворимого завтрака

С увеличением влажности гранулированного завтрака до 10% значения коэффициентов трения плавно возрастают. Увеличение коэффициентов трения происходит при повышении влажности.

Зависимость пластической прочности от влагосодержания смеси для гранулированного завтрака представлена на рисунке 8.

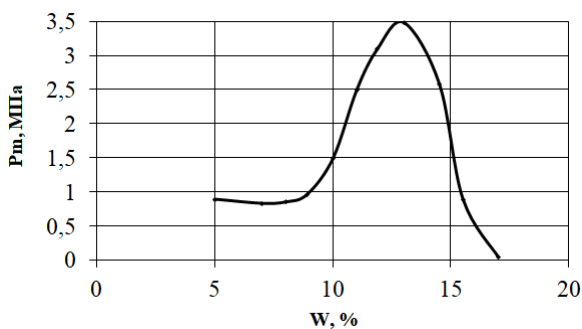


Рисунок 8 – Зависимость пластической прочности дисперсной смеси для гранулирования завтрака от влажности

Из приведенной закономерности видно, что данная зависимость является типичной кривой изменения пластической прочности в зависимости от влажности материала при увлажнении. Пластические свойства материала определяются не только содержанием в нем жидкой фазы (влаги), но и характером связи влаги с твердой фазой.

Закключение. От размера гранул при влажности: 1 – для сухих гранул ($W = 5\%$); 2 – для влажных гранул ($W = 12\%$) изучена зависимость механической прочности быстрорастворимого завтрака. Механическая прочность повышается с увеличением размера гранул завтрака. Наблюдается уменьшение пористости с увеличением диаметра гранул. Большая часть гранул находится в интервале 1,0–2,0 мм. Активатор способствует в 3-5 раз снижать время гранулирования в тарельчатом грануляторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Витюгин, В.М. Исследование процесса гранулирования скатыванием с учетом свойств комкуемых дисперсий: дис. ... д-ра техн. наук: Витюгин В.М. – Томск. – 1975. – 312 с.
2. Евдокимова, О.В. Требования к этапам жизненного цикла функциональных продуктов питания / О.В. Евдокимова // Пищевая промышленность. – 2009. – № 1. – С. 14-15.
3. Кравченко, С.М. Формирование потребительского поведения на рынке продуктов функционального назначения / С.М. Кравченко, Г.С. Драпкина, М.А. Постолова // Пищевая промышленность. – 2008. – № 4. – С. 42-43.
4. Попов А.М. Моделирование мехатронных систем производства инстантированных напитков с добавлением амарантовой муки / А.М. Попов А.М., П.П. Иванов, К.Б. Плотников, Д.В. Доля, С.Г. Пачкин, И.О. Плотникова // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – № 2. – С. 273-281.
5. Постолова М.А. Исследование пластической прочности гранулированного черничного киселя / М.А. Постолова, А.М. Попов, Г.С. Драпкина // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 4. – С. 94-95.
6. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур: кн / П.А. Ребиндер. – М.: Наука – 1966. – 284 с.
7. Плотников К.Б. Совершенствование технологического потока линии производства инстантированного киселя / К.Б. Плотников, А.М. Попов, И.Б. Плотников, Р.В. Крюк, С.Д. Руднев // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – №1. – С. 96-105.
8. Шишков, Ю.И. Некоторые аспекты продуктов функционального питания / Ю.И. Шишков // Пищевая промышленность. – 2007. – №1. – С. 10-11.
9. Pathare, Pankaj & Byrne, Edmond. Application of Wet Granulation Processes for Granola Breakfast Cereal Production. Food Engineering Reviews. – 2011. – 189-201. 10.1007/s12393-011-9043-7.
10. H. S. Tan, A. D. Salman, M. J. Kinetics of melt granulation in fluidized bed I: The influence of process variables. Chem. Eng. Sci. – 2006. – 61. – PP. 1585-1601.
11. I. Sotami, T. Inoue, T. Katagiri, H. Takeuchi, M. Tsuda, H. Academe, S. Isobe; Reduction of the addition of water to the granulation of the fluidized bed by a steam-water two-phase binder. Jpn. J. Food Eng. – 2004 – 15, PP. 25-35.
12. Otsuka, T, Vaio, Y, Miyagishima, A, Italy, S. The use of principal component analysis makes it possible to efficiently find important physical variables for optimizing granular fluidized bed conditions. Int J Pharm – 2011 – 409:81–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2011.02.044>.
13. Srinivasa k annan, K, Balasubramanian, N. Analysis on modeling the drying of granular material in a fluidized bed. Adv Powder Technol – 2008; 19:73-82. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2008.05.008>.
14. Pitch, V. Agglomeration in industry: emergence and application. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA; – 2005. – Search.
15. Fries, L., S. Antonyuk, S. Heinrich, D. Dopfer, and S.

Panzer (2013) Collision dynamics in a fluidized bed granulator: a study of DEMCFD. Chem. Eng. Sciences. 86: 108-123.

16. Baumann, A., M. J. Goodson, M. Craft and P. R. Mart (2007) Modeling and validation of granulation with heterogeneous binder dispersion and chemical reaction. Chem. Eng. Sciences. 62: 4717-4728.

17. Phung K. Le, Paul Avontuur, Michael J. Hounslow, Agba D. Salman. A microscopic study of granulation mechanisms and their effect on granule. Powder Technology. 2011; 206: 18-24.

18. Ansari M. A., Stepanek F. The Evolution of Microstructure in Three-Component Granulation and Its Effect on Dissolution. Particulate Science and Technology. 2008; 26: 55-66.

19. Gianfrancesco A., Turchiulie C., Dumoulin E., Palzer S. Prediction of Powder Stickiness along Spray Drying Process in Relation to Agglomeration. Particulate Science and Technology. 2009; 27, 415-427.

20. Infante J. A., Ivorra B., Ramos A. M., Rey J. M. On the modelling and simulation of high-pressure processes and inactivation of enzymes in food engineering. Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. 2009; 19: 2203 – 2229.

21. Классен, П. В. Основы техники гранулирования / П. В. Классен, И. Г. Гришаев. М.: Химия, – 1982. – 272 с.

Статья поступила в редакцию 22.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 664.1/.2(045)

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0011

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА КОНДИТЕРСКОЙ ГЛАЗУРИ С МЕЛАНИНОМ ИЗ ГРЕЧНЕВОЙ ЛУЗГИ

© 2022

Кадрицкая Елена Александровна, аспирант кафедры Технологии питания

Школьникова Марина Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры Технологии питания

Кокорева Лариса Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии питания

Ялунина Екатерина Николаевна, доктор экономических наук,

профессор кафедры Конкурентного права и антимонопольного регулирования

Уральский государственный экономический университет

(620144, Россия, Екатеринбург, улица 8 Марта/Народной Воли, 62/45, e-mail: shkolnikova.m.n@mail.ru)

Рожнов Евгений Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Биотехнология

Бийский технологический институт (филиал)

Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

(659305, Россия, Бийск, улица им. Героя Советского союза Трофимова, 27)

Аннотация. На сегодняшний день природные меланины находят все большее применение в технологии продуктов питания, благодаря широкому перечню функциональных свойств и очень низкой острой пероральной токсичности, в том числе, как альтернатива какао-порошку – натуральному и алкализированному. Однако, имеются сведения, что при подщелачивании происходит частичное снижение усвояемости и пищевой ценности с изменением ароматических свойств какао-порошка. Кроме того, современные реалии рынка какао-порошка свидетельствуют о нестабильности производства и колебаниях цен на данный ингредиент кондитерского производства. Таким образом исследования, направленные на поиск новых видов сырья и изучение комплекса его свойств, позволяющего частично сократить расход какао-порошка в рецептурах, являются актуальными и значимыми. В статье приведены данные по исследованию интенсивности и оттенка цвета этанольных растворов какаосодержащих глазурей порошка, в том числе с частичной заменой неалкализированного какао-порошка порошком меланина из лuzги гречихи и определении цветовых различий между образцами по методике $CIE L^*a^*b^*$ в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по освещению 1950 г. Показано, что опытный образец глазури, содержащий 15% неалкализированного какао-порошка и 10% порошка меланина, практически не имеет различий в цвете поверхности глазури с образцом, содержащим 25% алкализированного какао-порошка. Технологическая схема производства кондитерской глазури с частичной заменой неалкализированного какао-порошка порошком меланином не требует изменения, и потому новые виды глазури можно производить на любом кондитерском производстве, в том числе, – на предприятиях общественного питания.

Ключевые слова: меланин, какао-порошок, алкализация, кондитерская глазурь, рецептура, безопасность, интенсивность цвета.

SUBSTANTIATION OF THE COMPOSITION OF CONFECTIONERY GLAZE WITH MELANIN FROM BUCKWHEAT HUSK

© 2022

Kadritskaya Elena Alexandrovna, postgraduate student of the department of Nutrition Technology

Shkolnikova Marina Nikolaevna, doctor of technical sciences, professor of the Department of Nutrition Technology

Kokoreva Larisa Anatolievna, candidate of technical sciences,

associate professor of the Department of Food Technology

Yalunina Ekaterina Nikolaevna, doctor of economic sciences,

professor of the Department of Competition Law and Antimonopoly Regulation

Ural State University of Economics

(620144, Russia, Yekaterinburg, 8 Marta street/Narodnaya Volya, 62/45, e-mail: shkolnikova.m.n@mail.ru)

Rozhnov Evgeny Dmitrievich, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Biotechnology

Biysk Institute of Technology (branch)

Altai State Technical University named after I.I. Polzunov

(659305, Russia, Biysk, Hero of the Soviet Union Trofimov Street, 27)

Abstract. Today, natural melanins are increasingly being used in food technology, due to a wide range of functional properties and very low acute oral toxicity, including as an alternative to cocoa powder - natural and alkalized. However, there is evidence that during alkalization, a partial decrease in digestibility and nutritional value occurs with a change in the aromatic properties of cocoa powder. In addition, the current realities of the cocoa powder market indicate the instability of production and price fluctuations for this ingredient of confectionery production. Thus, research aimed at finding new types of raw materials and studying the complex of its properties, which partially reduces the consumption of cocoa powder in formulations, is relevant and significant. The article presents data on the study of the intensity and color shade of ethanol solutions of cocoa-containing powder glazes, including partial replacement of non-alkalized

cocoa powder with melanin powder from buckwheat husks and determination of color differences between samples according to the *CIE L*a*b** method in accordance with the recommendations of the International Commission on Illumination 1950. It is shown that a prototype glaze containing 15% non-alkalized cocoa powder and 10% melanin powder has practically no differences in the color of the glaze surface with a sample containing 25% alkalinized cocoa powder. The technological scheme of the production of confectionery azure with partial replacement of non-alkalized cocoa powder with melanin powder does not require changes, and therefore new types of glaze can be produced at any confectionery production, including at catering establishments.

Keywords: melanin, cocoa powder, alkalization, confectionery glaze, formulation, safety, color intensity.

Введение. Меланины имеют высокую физиологическую активность и функциональные свойства, что обуславливает их применение во многих областях – фармакология, растениеводство, косметическая промышленность [1-6]. В последнее время рядом исследований доказано, что меланин из различных источников имеет определенные перспективы в технологии продуктов питания, в том числе кондитерских изделий, – антиоксидант / консервант, пищевой краситель, энтеросорбент и т.д. [7-15], а также их первичной упаковке с улучшенными механическими и разнообразными барьерными свойствами, в частности свето-, – термостойкость [16-19].

Основными видами сырья кондитерских глазурей являются какао-продукты – натуральный и/или алкализированный какао-порошок и какао-масло. Стоит отметить, что широкий рынок эквивалентов, заменителей и улучшителей ингредиента многих кондитерских изделий и полуфабрикатов – масла какао сформировался к настоящему времени [20], в то время как исследования по поиску альтернатив какао-порошку активно проводятся лишь в последние несколько лет в виду постоянно растущей стоимости какао-бобов и спроса на них при практически неизменном объеме производства какао-продуктов [21]. Именно поэтому поиск альтернативных заменителей какао-продуктов,

в том числе местных и полученных из вторичных сырьевых ресурсов для снижения содержания какао в кондитерских полуфабрикатах и изделиях имеет важное значение.

Наиболее близкой альтернативой порошку, полученному из какао-бобов, являются порошок из их оболочек – какаоеллы [22, 23] и кэрб [24-27]. Также известно использование фруктово-овощных порошков [28], порошка из виноградных косточек [29] и меланина [10, 12].

Многочисленными исследованиями доказано, что алкализированный какао-порошок содержит намного меньше летучих соединений, чем обжаренный натуральный какао-порошок.

Подщелачивание во время обжарки является одним из нескольких способов, которые используются в промышленных масштабах для изменения цвета какао-порошка с различной восприимчивостью к образованию орто-хинонов и реакции Майяра, особенно к образованию коричневых соединений неферментативным путем. Ощелачивание или алкализация играет важную роль в улучшение таких характеристик порошка, как: интенсивность цвета, а также смачиваемость и диспергируемость [30]. Однако, доказано, что изменяется и ароматический профиль какао-порошка (рис. 1).

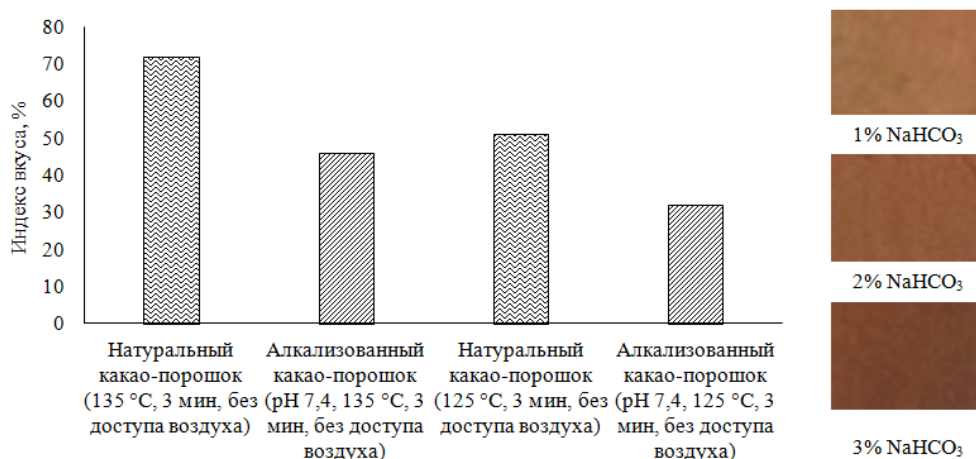


Рисунок 1 – Влияние концентрации щелочи на интенсивность цвета и индекс вкуса какао-порошка [31]

По данным [33] бобы, подщелаченные в мягких условиях, имели во вкусовом профиле больше тонов какао, шоколада и терпкости, меньше оттенков щелочности, чем те, которые подщелачивались в более жестких условиях.

Также имеются сведения, что при подщелачивании происходит частичное снижение усвояемости и

пищевой ценности – потенциальной антимуtagenной, иммуномодулирующей и антиоксидантной активности за счет разрушения/деградации полифенольных соединений, незаменимых свободных аминокислот, пирона, фуранеола и других соединений, что является важным фактором в сохранении качества какао [32-34]. Известно влияние подщелачивания на ухудше-

ние реологических характеристик теста, в частности упругости заготовок [32].

Вышеизложенное обусловило **цель** работы – оценка возможности использования порошка меланина в качестве альтернативы алкализированному какао-порошку в составе какаосодержащей кондитерской глазури с исследованием влияния меланина на ее цветные характеристики.

Материалы и результаты исследования. Объектами исследования являлись:

– образец меланина в виде мелкодисперсного порошка с содержанием влаги 4,5%, полученный в условиях лаборатории из лузги гречихи по описанному в [9] способу. Ранее исследованы свойства опытных образцов меланина и показана принципиальная возможность их использования в составе кондитерских полуфабрикатов и изделий [9, 10, 35]. Необходимо отметить, что меланины, обладая высокой фармакологической и физиологической активностью, имеют очень низкую острую пероральную токсичность, так, средняя летальная доза ЛД₅₀ > 2500 мг/кг. Объяснением, по мнению [36] служит то, что в организме человека они существуют в виде «депо» связанных меланинов, высвобождаясь по мере необходимости при определенных физиологической ситуациях. Суточная доза меланина для мышей массой 21–22 г составила 25–30 мг/кг при разовой дозе 0,5 мг/мл растворенного в воде меланина из гречневой лузги, выделенного по описанному в [8]. Для испытуемых мышей такая дозировка обусловлена тем, что близка к используемой по разным показаниям человеком в качестве пищевой добавки. При этом, в эксперименте *in vivo* показано, что при такой суточной дозе и приеме в течение 15-ти сут. в опытной группе животных отмечены замедление роста массы тела, снижение спонтанной двигательной активности и мышечной силы, нарушение иммунологического статуса. С уменьшением суточной дозы меланина в 4 раза (до 6,25–7,25 мг/кг) при наблюдении в течение 15-ти сут. негативные эффекты у животных не отмечены, что обусловило использование меланина в составе рецептур [36]. Таким образом, безопасной является суточная доза – 0,47–0,54 г на массу человека 75 кг (0,00625–0,00725 г/кг);

– какао-порошок производственный (ГОСТ 108-2014) – коммерческие образцы, представляющие собой кондитерский полуфабрикат, получаемый путем измельчения какао-жмыха, содержащий от 9% до 12% масла какао и не более 5,5% (алкализированный) и 7,5% (не алкализированный) влаги, со степенью измельчения не более 2% (изготовитель: ООО «АБ-МАРКЕТ», г. Москва). Область применения включает производство кондитерских глазурей;

– образцы какаосодержащей кондитерской глазури: традиционным способом было приготовлено 6 образцов кондитерской глазури: № 1 на основе алкализированного какао-порошка, № 2 на основе неалкализированного какао-порошка, а также содержащие 3, 5, 7 и 10% порошка меланина как замена какао-порошку – образцы № 3–6 соответственно.

Определение интенсивности и оттенка цвета образцов какао-порошка, контрольного и опытного меланина проводили в этанольных экстрактах. Этанольные экстракты получали экстракцией по следующей схеме: 1 г образца суспендировали в 100 см³ 50%-ного водного раствора этанола в конических колбах и перемешивали на орбитальном шейкере (название) (150 об/мин) в течение 30 мин при T=50°C. Полученные экстракты отфильтровывали через фильтровальную бумагу, полученные фильтраты доводили до объема 500 см³ в мерных колбах тем же раствором, что был использован для экстракции окрашенных соединений. Оптическую плотность полученных экстрактов измеряли при 420, 520 и 620 нм с использованием сканирующего UV/VIS спектрофотометра Shimadzu UV1800 относительно экстрагента. Результаты выражали в единицах оптической плотности (е.о.п.). Интенсивность (I) цвета образцов определяли путем сложения полученных значений оптических плотностей, оттенок цвета (T) определяли путем отношения значений оптической плотности при 420 и 520 нм [37].

Вклады желтого (420 нм), красного (520 нм) и синего (620 нм) пигмента определяли согласно методики, предложенной [37, 38] и позволяющей определять хроматическую структуру цвета с использованием следующих соотношений:

$$D_{420}(\%) = 100 \cdot D_{420} / I; \quad D_{520}(\%) = 100 \cdot D_{520} / I;$$

$$D_{620}(\%) = 100 \cdot D_{620} / I.$$

Исследование трихроматических характеристик проводили в системе CIE 1931 XYZ, вмещающей в себя все воспринимаемые человеком цвета и позволяющую получить необходимый цвет путем смешивания трех основных цветов проводили по методикам, изложенным в [39] с последующим определением координат цветности (x и y) по следующим формулам:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad (1)$$

где X, Y и Z – относительные цветовые координаты, определяемые как:

$$X = 0.42 \cdot T_{625} + 0.35 \cdot T_{550} + 0.21 \cdot T_{445};$$

$$Y = 0.20 \cdot T_{625} + 0.63 \cdot T_{450} + 0.17 \cdot T_{495};$$

$$Z = 0.24 \cdot T_{495} + 0.94 \cdot T_{445}.$$

Цветовые различия (цветовую разницу ΔE) между образцами какао-порошка и меланином оценивали с использованием системы CIE L*a*b* [40] по формуле:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (2)$$

где ΔL* – разница между светлотой образцов;

Δa* – разница между значениями координат цвета двух образцов по зелено-красной хроматической оси;

Δb* – разница между значениями координат цвета двух образцов по желто-синей хроматической оси.

Координаты цветности для расчета значений L*, a* и b* рассчитывали оптимизированным способом [41]:

$$X = 19,717 \cdot \tau_{450} + 1,884 \cdot \tau_{520} + 42,539 \cdot \tau_{570} + 32,474 \cdot \tau_{630} - 1,841,$$

$$Y = 7,950 \cdot \tau_{450} + 34,764 \cdot \tau_{520} + 42,736 \cdot \tau_{570} + 15,759 \cdot \tau_{630} - 1,180,$$

$$Z = 103,518 \cdot \tau_{450} + 4,190 \cdot \tau_{520} + 0,251 \cdot \tau_{570} - 1,831 \cdot \tau_{630} + 0,818,$$

где τ_{450} , τ_{520} , τ_{570} и τ_{630} – величина коэффициента про-

пускания при соответствующей длине волны.

Определение расчетных координат L^* , a^* и b^* осуществляется согласно рекомендаций, приведенных в [42].

Для исследования цветовых характеристик полученных глазурей, образцами глазурей покрывали белые пластины, давали застыть, а затем с использованием цифровой фотокамеры в белом боксе делали снимки поверхности глазурей. Далее снимки обрабатывались с использованием интернет-ресурса *ImageColorPicker.online* [43], позволяющего с использованием классического для фоторедакторов инструмента «пипетка» определить координаты цвета любой точки загруженного изображения в координатах цвета RGB. Затем, используя цветовой конвертер, определя-

ли координаты цвета в трихроматических координатах XYZ. В качестве образца сравнения использована кондитерская глазурь на основе алкализованного какао-порошка. Внешний вид кондитерских глазурей представлен на рисунке 2.

В таблице 1 представлены результаты анализа полученных изображений поверхности кондитерских глазурей без и с добавлением порошка меланина.

Как показали результаты исследований, опытный образец глазури № 6 содержащий 15% неалкализованного какао-порошка и 5% порошка меланина практически не имеет различий в цвете поверхности глазури с образцом № 1 с алкализованным какао-порошком в количестве 25%. В таблице 2 приведена рецептура данных образцов.

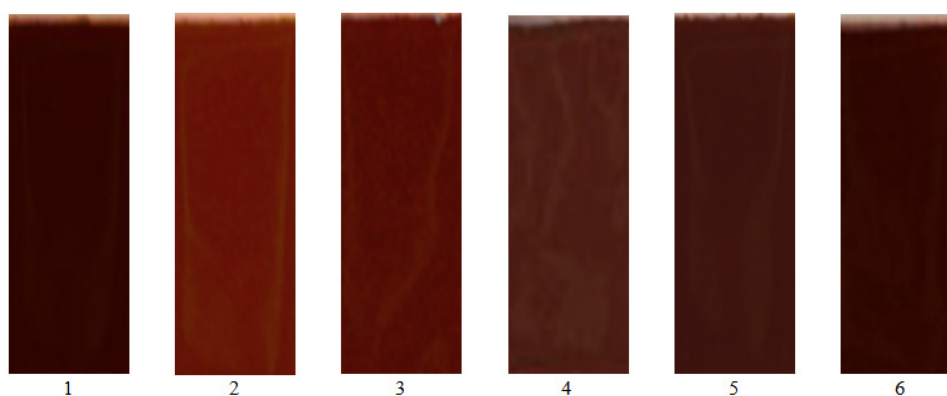


Рисунок 2 – Фотографии поверхности кондитерских глазурей

1 – глазурь на основе алкализованного какао-порошка; 2 – глазурь на основе не алкализованного какао-порошка;
3–6 – глазури, содержащие 1,5 %, 2,5 %, 3,5 % и 5 % порошка меланина

Таблица 1 – Результаты исследования цветовых характеристик поверхности кондитерских глазурей

Образец глазури	Координаты цвета в системе RGB			Относительные цветовые координаты			Визуальная интерпретация цветовых координат
	R	G	B	X	Y	Z	
1 (к)	45,0	4,0	0,0	1,191	0,671	0,048	
2	101,0	18,0	7,0	5,938	3,342	0,392	
3	85,0	14,0	5,0	4,152	2,345	0,278	
4	75,0	28,0	19,0	3,609	2,437	0,676	
5	63,0	21,0	15,0	2,525	1,673	0,483	
6	49,0	7,0	1,0	1,425	0,838	0,085	

Таблица 2 – Рецептура образцов кондитерской глазури на загрузку сырья 1000 г

Ингредиент	Содержание сухих веществ, %	Расход ингредиентов, г			
		Образец № 1		Образец № 6	
		В натуре	В СВ	В натуре	В СВ
Вода	–	220,0	0,0	220,0	0,0
Сахар кристаллический белый	99,9	320,0	319,5	320,0	319,5
Заменители масла какао лауринового типа ЗМК «СолПро» 33935	86,0	100,0	86,0	100,0	86,0
Ароматизатор ванилин	93,6	10,0	9,4	10,0	9,4
Эмульгатор (соевый лецитин E322)*	99,3	100,0	99,3	100,0	99,3
Какао-порошок неалкализованный	94,8	250,0	237,0	150,0	142,2
Меланин	95,7	–	–	50,0	42,8
Итого		1000,0	751,2	1000,0	752,1
Выход		870,0	653,5	870,2	654,5
Массовая доля влаги глазури, %		13,0±0,8		12,8±0,8	

На следующем этапе исследований была проведена математическая оптимизация рецептуры глазури, содержащей какао-порошок и меланин с целью расчета минимальной себестоимости путем поиска решения линейной задачи симплекс-методом. В качестве ограничений при решении задачи было принято содержание меланина в глазури равное 10%, какао-порошка неалкализованного – 15%, эмульгатора (соевого лецитина E322) – 10%, ароматизатора ванилина – 1%.

Целевое содержание углеводов в продукте задавали на уровне 32%, содержание жиров – 8,6%. Расчет проводили на 1000 г готового продукта. Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные для оптимизации рецептуры кондитерской глазури

Ингредиенты	Массовая доля, %				Цена, руб./кг
	Жиры	Углеводы	Вода	СВ	
Вода	0,0	0,0	100,0	0,0	0,03
Сахар	0,0	99,9	0,0	99,9	43,2
Масло	86,0	0,0	14,0	86	320,0
Ванилин	0,0	0,0	6,4	93,6	210,0
Лецитин	0,0	0,0	0,7	99,3	920,0
Какао	15,0	10,2	5,3	94,8	410,0
Меланин	0,0	0,0	4,3	95,7	350,0

Результаты решения линейной задачи оптимизации себестоимости кондитерской глазури представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оптимизированная рецептура кондитерской глазури на загрузку сырья 1000 г

Ингредиент	Содержание сухих веществ, %	Расход ингредиентов	
		в натуре, г	в СВ, %
Вода	–	261,2	0
Сахар кристаллический белый *	99,9	305,0	304,7
Заменители масла какао лауринового типа ЗМК «СолПро» 33935*	86,0	73,8	63,5
Ароматизатор ванилин	93,6	10,0	9,36
Эмульгатор (соевый лецитин E322)*	99,3	100,0	99,3
Какао-порошок неалкализированный	94,8	150,0	142,2
Меланин	95,7	50,0	42,8
Итого		1000,0	714,8

Расчетная себестоимость глазури на основе какао-порошка составляет 242,43 руб./кг, глазури с добавлением порошка меланина до оптимизации составляет – 240,93 руб./кг, себестоимость глазури с порошком меланина после оптимизации – 234,93 руб./кг. Таким образом экономический эффект от внедрения оптимизированной рецептуры составит 4,52 руб./кг кондитерской глазури, а общий экономический эффект от замены части какао-порошка в рецептуре кондитерской глазури на порошок меланина составит 7,52 руб./кг.

Заключение. Таким образом, показана возможность использования порошка меланина в качестве частичной замены алкализованного какао-порошка в составе какаосодержащей кондитерской глазури. Установлено, что опытный образец глазури, содержащий 15% неалкализованного какао-порошка и 5%

порошка меланина, практически не имеет различий в цвете поверхности глазури с образцом, содержащим 25% алкализованного какао-порошка. Технологическая схема производства кондитерской глазури с частичной заменой неалкализованного какао-порошка порошком меланином не требует изменения, и потому новые виды глазури можно производить на любом кондитерском производстве, в том числе, – на предприятиях общественного питания. Снижение себестоимости кондитерской глазури позволит снизить и себестоимость глазированных изделий, что позволит позиционировать их в сегменте продукции класса «эконом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Kunwar, A. Melanin, a promising radioprotector: Mechanisms of actions in a mice model / A. Kunwar, B. Adhary, S. Jayakumar [et al.] // Toxicology and Applied Pharmacology. 2012. V. 264, №2. P. 202–211.
- Schweitzer, A.D. Melanin-covered nanoparticles for protection of bone marrow during radiation therapy of cancer / A.D. Schweitzer, E. Revskaya, P. Chu [et al.] // International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics. 2010. V.78, № 5. P. 1494–1502.
- Бушманов, А.Ю. Противолучевые свойства меланина / А. Ю. Бушманов, А. А. Иванов, И. Е. Андрианова, Н. М. Ставракова, Т. М. Булыгина, О. В. Дорожкина // Саратовский научно-медицинский журнал. 2014. Т. 10, № 4. С. 828–832.
- Chu, M. Melanin nanoparticles derived from a homology of medicine and food for sentinel lymph node mapping and photothermal in vivo cancer therapy / M. Chu, W. Hai, Z. Zhang [et al.] // Biomaterials. 2016. V. 91. P. 182–199. doi:10.1016/j.biomaterials.2016.03.018
- Скорбина, Е.А. Разработка технологии получения и исследование биологической активности меланинсодержащих препаратов: автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук по спец. 03.00.23 – Биотехнология. – Ставрополь, 2005. – 23 с
- Тоноян, Л. Е. Влияние бактериального меланина (Btm) на культуру огурца в условиях in vitro и in vivo / Л. Е. Тоноян, М. Т. Петросян, К. Г. Азарян, Ю. Г. Попов // Ученые записки Ереванского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 50–55
- Kurian, N.K., Food, cosmetic and biological applications of characterized DOPA-melanin from *Vibrio alginolyticus* strain BTKKS3 / N.K. Kurian, S.G. Bhat // Applied Biological Chemistry. 2018. V. 61. P. 163–171. doi: 10.1007/s13765-018-0343-y
- Пат. 2215761 Российская Федерация, МПК C09B 61/00 (2006.01) Способ получения пигмента-красителя из растительного сырья: № 2000116048/13: заявл. 19.06.2000: опубл. 10.06.2002 / Огарков Б.Н., Самусенок Л.В. (Россия).
- Школьников, М.Н. Обоснование использования лузги гречихи для получения функциональных пищевых красителей / М.Н. Школьников, Е.А. Кадрицкая // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2020. № 4. С. 22–28. DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-22-28.
- Чугунова О.В. Использование сухого экстракта меланина в производстве мучных кондитерских изделий / О.В. Чугунова, Е.А. Кадрицкая // e-FORUM. 2020. № 4 (13). – URL: <http://eforum.usue.ru/ru/vypuski-2020?id=289> (дата обращения: 14.01.2022).
- Пат. 2747688 РФ МПК C09B 61/00 (2006.01), C09B 67/04 (2006.01) Пищевой пигмент-краситель из лузги гречихи и способ его получения: заявл. № 2020124806: 27.07.2020: опубл. 12.05.2021, Бюл. № 14 / Абрамов С. Ю., Ломовский И.О., Ломовский О.И. (Россия).
- Пат. 2545349 РФ МПК A23J 1/12, 3/14, 3/32, 3/24 (2006.01) Способ получения гидролизата из шелухи гречихи в качестве замены какао-порошка для пряничных и кондитерских изделий: заявл. 10.12.2013 № 2013154812/10; опубл. 27.03.2015, Бюл. № 9 / Кушнарченко Л.В., Левочкина Л.В. (Россия);

13. Пат. 2210952 РФ, МПК А23L2/00, А23L2/38, А23L2/52, А23L2/58 Безалкогольный напиток «Мелиссовый» заявл.: № 2000122469/13: 25.08.2000: опубл. 27.08.2003, Бюл. № 24 / Огарков Б.Н., Огаркова Г.Р., Самусенок Л.В., Алексеева Т.Н., Орещенко А.В (Россия);
14. Гордеева, Л.Н. Использование меланинового красителя из гречихи в (для производства безалкогольных напитков протекторного действия / Л.Н. Гордеева // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2002. – № 2. – С. 662.
15. Алексеева, Т.Н. Исследование растительного меланина как пищевого красителя для безалкогольных напитков / Т.Н. Алексеева, Л.А. Оганесянц, Е.В. Красникова, Н.В. Рудометова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 7. – С. 40–43.
16. Swarup, R. Melanin-mediated synthesis of silver nanoparticle and its use for the preparation of carrageenan-based antibacterial films / R. Swarup, S. Shiv, R. Jong-Wan // Food Hydrocolloids. 2019. V. 88. March 2019. P. 237–246. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.10.013.
17. Kiran, G. Melanin-templated rapid synthesis of silver nanostructures / G. Kiran, A. Dhasayan, A. Lipton, J. Selvin, M. Arasu, Al-Dhabi, N. Naif // Journal of Nanobiotechnology. 2014. V. 12(1). P. 18–30. doi:10.1186/1477-3155-12-18.
18. Whey Protein Concentrate/Isolate Biofunctional Films Modified with Melanin from Watermelon (*Citrullus lanatus*) Seeds // Materials 2020, 13(17), 3876; <https://doi.org/10.3390/ma13173876>.
19. Yang, M. High performance of alginate/polyvinyl alcohol composite film based on natural original melanin nanoparticles used as food thermal insulating and UV–vis block / M. Yang, L. Li, Y. Shuguang, L. Jiawei, S. Jinsheng // Carbohydrate Polymers. 2020. V. 233, 1 April 2020, 115884. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115884>.
20. Саранов, И.А. Дифференциальная сканирующая калориметрия какао масла и шоколадной глазури / И.А. Саранов, О.Б. Рудаков, К.К. Полянский // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 154–160; doi: 10.20914/2310-1202-2020-2-154-160.
21. Обзор российского рынка шоколадных изделий: товарный и рекламный аспекты: электронный ресурс: официальный сайт электронного журнала AdIndex Market: URL: <https://adindex.ru/adindex-market/3/chocolate/153755.phtml>. Дата обращения 18.07.2021 г.
22. Магомедов, Г.О. Методика повышения качества порошка из какаоеллы / Магомедов Г.О., Черемушкина И.В., Плотникова И.В. // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94(9). С. 90–92.
23. Магомедов, Г.О. Микробиологическая безопасность порошка из какаоеллы для использования в кондитерских изделиях повышенной пищевой ценности / Г.О. Магомедов, И.В. Плотникова, Н.П. Зацепилина, А.В. Кривошеина // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2016. № 3. С. 100–107.
24. Сычѳва, О.В. Мучное кондитерское изделие с заменителем какао / О.В. Сычѳва, Е.А. Скорбина, Э.Д. Алтунян // Пищевая индустрия. 2019. № 4. С. 38–40.
25. Лукина, С. И. Применение нетрадиционного сырья в производстве бисквитно-сбивного печенья / С. И. Лукина, Е. И. Пономарева, И. П. Пешкина, Х. Ю. Боташева // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 56–59;
26. Stankov, S. Rheological and sensory properties of glazes prepared with carob and cocoa powders / S. Stankov, M. Dzhivoderova-Zarcheva, E. Dimitrova [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. 2020;00:e14580. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14580>.
27. Tkeshelashvili, M.E. Quality improvement and shelf life of sweets of the Assorty type Повышение качества и срока годности конфет типа Ассорти / М.Е. Tkeshelashvili, G.A. Bobozhonova, A.B. Sorokina, G.O. Magomedov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 640, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials 26-29 February 2020, Voronezh, Russian Federation.
28. Линовская, Н. В. Изучение технологической адекватности сырьевых компонентов, используемых в производстве шоколадного полуфабриката / Н.В. Линовская, Э.В. Мазукабзова, Н.Б. Кондратьев, Э.Н. Крылова // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 3. С. 404–412. doi: 10.21443/1560-9278-2019-22-3-404-412.
29. Gorodyska, O. Investigation of the safety grapeseed powder as an alternative to cocoa-powder in a confectionery glaze / O. Gorodyska, N. Grevtseva, O. Samokhvalova, O. Savchenko, A. Grygorenko // Харчова наука і технологія | Food science and technology. 2018. V. 12. I. 3. – P. 64–72.
30. Bonvehí, J.S. Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder // European Food Research and Technology. 2005. V. 221. P. 19–29. doi:10.1007/s00217-005-1147-y.
31. Bonvehí, J.S. Factors Affecting the Formation of Alkylpyrazines during Roasting Treatment in Natural and Alkalinized Cocoa Powder / J. Serra Bonvehí, F. Ventura Coll // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. V. 50 (13). P. 3743-3750.
32. Puchol-Miquel, M. Effect of the type and degree of alkalization of cocoa powder on the physico-chemical and sensory properties of sponge cakes / M. Puchol-Miquel, C. Palomares, I. Fernández-Segovia, J.M. Barat, É. Perez-Esteve // LWT – Food Science and Technology. 2021. V. 152. 112241. doi:10.1016/j.lwt.2021.112241.
33. Wollgast J., Anklam E. Polyphenols in chocolate: Is there a contribution to human health // Food Research International. 2000. V. 33. P. 449–459;
34. Roura, E, Andrés-Lacueva, C, Estruch, R, et al. The effects of milk as a food matrix for polyphenols on the excretion profile of cocoa (–)-epicatechin metabolites in healthy human subjects. British Journal of Nutrition. 2008. V. 100. P. 846–851.
35. Школьникова, М.Н. Показатели безопасности меланина как ингредиента кондитерских полуфабрикатов / М.Н. Школьникова, Е.А. Кадрицкая // Современная наука и инновации. 2021. № 4 (36). С. 94–101.
36. Иванов, А.А. Фармакологические свойства фитомеланина / А.А. Иванов, И.Е. Андрианова, В.Н. Мальцев, А.Н. Абросимова [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. 2014. № 4 (50). С. 66–72.
37. Sudraud, P. Interprétation des courbes d'absorption des vins rouges // Ann. Technol. Agric. 1958. V. 7. P. 203–208.
38. Glories, Y. La couleur des vins rouges // Connaissance Vigne Vin. 1984. V. 4, № 18. P. 253–271.
39. Kasajima, I. Plotting Colors on Color Circle: Interconversion between XYZ Values and RGB Color System // Current Trends in Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2017. V. 1, № 1. P. 1–8.
40. Горбунова, Е.В. Типовые расчеты по колориметрии источников излучения / Е.В. Горбунова, А.Н. Чертов: Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 90 с.
41. Jensen J.S. Prediction of wine color from phenolic profiles of red grapes: Industrial PhD Thesis. FOSS and DTU Chemical and Biochemical Engineering. Denmark, 2008. 71 p.
42. ISO/CIE 11664-4:2019(F) Colorimétrie – Partie 4: Espace chromatique L*a*b* CIE 1976. – 9 p.
43. Онлайн-сервис ImageColorPicker: режим доступа: <https://imagecolorpicker.online/ru/>. Дата обращения 15.11.2021 г.

Статья поступила в редакцию 26.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 664.8/9

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0012

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ СЫРЬЯ ПРИ КОНСЕРВИРОВАНИИ ОГУРЦОВ

© 2022

Белокурова Елена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств института биомедицинских систем и биотехнологий

Панкина Илона Анатольевна, кандидат технических наук, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств института биомедицинских систем и биотехнологий

Севастьянова Анна Дмитриевна, ассистент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств института биомедицинских систем и биотехнологий

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

(195251, Россия, Санкт-Петербург ул. Политехническая, д. 29,

e-mails: belokurova_es@spbstu.ru, pankina_ia@spbstu.ru, anna-julija@rambler.ru)

Аннотация. В статье рассмотрена роль свежих овощей и переработанной плодоовощной продукции в питании человека. Отмечена специфика рынка отечественной плодоовощной консервированной продукции, указан рост потребления готовых плодоовощных консервов и перспективы развития. Подробно описана пищевая и биологическая ценность свежих огурцов и различные способы переработки, позволяющие не только увеличить сроки хранения, но и сохранить пищевую ценность сырья. Исследован биотехнологический способ консервирования огурцов методом молочно-кислого брожения. При проведении исследований для ферментации сырья использовалась эпифитная микрофлора и стартовые культуры микроорганизмов *Lactobacillus plantarum 8P-A3* и *Lactobacillus fermentum 39*. По результатам проведённых экспериментов установлено, что применение заквасочных культур гетеро ферментативных бактерий *Lactobacillus plantarum 8P-A3* и *Lactobacillus fermentum 39* позволяет сократить продолжительность ферментации и получить готовый продукт с высокими органолептическими и физико-химическими показателями. Используемые микроорганизмы обладают пробиотическими свойствами и поэтому повышают биологическую ценность солёных огурцов. При выборе заквасочных культур микроорганизмов для ферментации растительного сырья необходимо ориентироваться на такой показатель как кислотообразующая активность, позволяющий прогнозировать протекание процесса молочнокислого брожения и получать готовый продукт с заданными свойствами.

Ключевые слова: солёные огурцы, молочно-кислое брожение, эпифитная микрофлора, стартовые культуры микроорганизмов, показатели качества.

JUSTIFICATION OF THE USE OF THE DIRECTED FERMENTATION IN THE CONSERVATION THE CUCUMBERS

© 2022

Belokurova Elena Sergeevna, PhD, associate professor of the Graduate School of Biotechnology and Food Science, Institute of Biomedical Systems and Biotechnology

Pankina Iona Anatolyevna, PhD, associate professor of the Graduate School of Biotechnology and Food Science, Institute of Biomedical Systems and Biotechnology

Sevastyanova Anna Dmitryevna, assistant of the Graduate School of Biotechnology and Food Science, Institute of Biomedical Systems and Biotechnology

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

(Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29,

e-mails: belokurova_es@spbstu.ru, pankina_ia@spbstu.ru, anna-julija@rambler.ru)

Abstract. The article describes the role of fresh vegetables and processed fruits and vegetables in human nutrition. The specifics of the domestic canned fruits and vegetables market are noted, the growth in consumption of canned fruits and vegetables and the development prospects are indicated. The nutritional and biological value of fresh cucumbers are show in the article. Various processing methods are described in detail, allowing not only to increase the shelf life, but also to preserve the nutritional value of raw materials. The biotechnological method of preserving cucumbers by the method of lactic acid fermentation has been investigated. When conducting research for the fermentation of raw materials, epiphytic microflora and starter cultures of microorganisms *Lactobacillus plantarum 8P-A3* and *Lactobacillus fermentum 39* were used. According to the results of the experiments, it was found that the use of starter cultures of heteroenzymatic bacteria *Lactobacillus plantarum 8P-A3* and *Lactobacillus fermentum 39* allows to reduce the duration of fermentation and obtain a finished product with high organoleptic and physicochemical characteristics. The microorganisms used have probiotic properties and therefore increase the biological value of pickled cucumbers. When choosing starter cultures of microorganisms for fermentation of plant raw materials, it is necessary to focus on such an indicator as acid-forming activity, which makes it possible to predict the course of the lactic acid fermentation process and obtain a finished product with desired properties.

Keywords: sour cucumbers, lactic fermentation, epiphytic microflora, ferment, quality indicators.

Введение. Во многих регионах Российской Федерации свежие, а также переработанные и предназначенные для длительного хранения овощи пользуются постоянным устойчивым спросом у населения. Много овощных культур выращивается на личных приусадебных участках, в дачных и в садоводческих товариществах. Овощи употребляются в пищу в свежем и переработанном виде. Чтобы сохранить как можно больше полезных свойств плодов и овощей при условии их длительного хранения, используют разные методы консервирования. Это необходимо для бесперебойного снабжения плодоовощной продукцией отдаленных труднодоступных и северных регионов нашей страны [1]. В настоящее время рынок готовых плодоовощных консервов растет и имеет положительные перспективы развития [2].

В то же время необходимо отметить такой важный факт, на который обращают внимание многие аналитики: в нашей стране трудно подсчитать количество потребляемой плодоовощной продукции в год на человека, т.к. потребляется большое количество овощей, выращенных на личных приусадебных участках или в садоводческих товариществах. Выращенная в личных хозяйствах продукция также подвергается консервированию для длительного хранения [3].

Огурцы являются одним из самых распространенных овощей в России по занимаемым площадям в овощеводстве страны. Одно из последних достижений в данной области: за счет программы стимулирования тепличного производства аграрии нашей страны за последние пять лет повысили долю выращивания овощей, что позволило России выйти на самообеспечение этой продукцией [4].

Огурцы употребляют в пищу в свежем виде, добавляют в овощные салаты и окрошки. Огурцы перерабатывают для длительного хранения: солят, маринуют, используют при изготовлении закусочной консервированной продукции. Применительно к овощной продукции нетермические методы консервирования такие как соление и квашение позволяют лучше сохранять биологически-активные вещества, но изготовленную таким образом продукцию необходимо хранить в условиях холодильного хранения. Термически-обработанная продукция может храниться при более высоких температурах и более длительное время. Поэтому как перерабатывать и сохранять переработанные плоды и овощи должны решать производители в соответствии с запросами потребителей. Квашеная капуста и соленые огурцы всегда пользовались устойчивым спросом у населения России, хотя являются сезонными продуктами и реализуются преимущественно в осенне-зимний период. Но возможность их использования как самостоятельное блюдо, а также при изготовлении первых блюд (кислые щи, рассольники), салатов, винегретов привлекают к ним внимание потребителей во время соблюдения постов, у вегетарианцев, а невысокая цена позволяет широко использовать их в питании социально незащищенных слоев населения [5].

Соление овощей основано на принципе ацидоценоанабиоза. При этом в результате протекания биохимических процессов под действием эпифитной микрофлоры сырья происходит накопление молочной кислоты. При ферментации исходного сырья происходит биодеградация углеводов: моно- и дисахариды разлагаются под действием ферментов молочно-кислых бактерий с образованием преимущественно молочной кислоты и небольшого количества побочных продуктов брожения [6]. В результате ферментации получается принципиально другой продукт, который отличается от свежих овощей по органолептическим, физико-химическим показателям, биохимическому составу и по содержанию микроорганизмов. Методом молочно-кислой ферментации консервируют разные овощи и фрукты. В странах Западной Европы, так же, как и в России, очень популярна квашеная капуста, соленые огурцы. Кроме того, широко распространены и пользуются спросом ферментированные оливки, подобным способом заготавливают морковь, цветную капусту, сельдерей, некоторые виды лука и перцев [7, 8].

Соленые огурцы содержат меньше углеводов, больше органических кислот [9].

Цель работы: провести сравнительный анализ качества солёных огурцов, изготовленных методом самопроизвольного брожения и с использованием стартовых культур микроорганизмов.

Материалы и результаты исследования. Для проведения исследования были выбраны огурцы сорта Родничок, выращенные в Выборгском районе Ленинградской области. Данный сорт огурцов внесён в государственный реестр отечественных селекционных достижений. Отличительная особенность заключается в том, что их можно выращивать на любом грунте во всех регионах Российской Федерации.

Ферментация проходила путем спонтанного брожения и с использованием лиофилизированных культур микроорганизмов *Lactobacillus plantarum* 8P-A3 и *Lactobacillus fermentum* 39.

Характеристика объектов исследования представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых образцов солёных огурцов

Наименование образцов	Состав продукта	Заквасочная микрофлора
Образец 1	Огурцы свежие, поваренная соль, семена укропа, корень хрена, листья смородины, чеснок, черный перец горошком, петрушка, сельдерей	Эпифитная
Образец 2	Огурцы свежие, поваренная соль, чеснок, черный перец горошком	Эпифитная
Образец 3	Огурцы свежие, поваренная соль, семена укропа, корень хрена, листья смородины, чеснок, черный перец горошком, петрушка, сельдерей	<i>Lactobacillus plantarum</i> 8P-A3 и <i>Lactobacillus fermentum</i> 39.
Образец 4	Огурцы свежие, поваренная соль, чеснок, черный перец горошком	<i>Lactobacillus plantarum</i> 8P-A3 и <i>Lactobacillus fermentum</i> 39.

При проведении исследования посол огурцов осуществляли по классической схеме. Для этого их сначала отбраковывали, потом мыли, отсортировывали по качеству, калибровали по размеру. Одновременно готовили пряности. Затем подготовленное сырье и пряности укладывали в заранее подготовленные стеклянные банки, заливали их рассолом и ставили на ферментацию при температуре 18-20°C на 72 ч. Процесс окончания ферментации определяли по органолептическим признакам: помутнению рассола, появлению характерного кислого запаха, накоплению пены на поверхности из-за выделения газа. Окончание процесса брожения устанавливали физико-химическим методом по накоплению органических кислот и достижению титруемой кислотности, установленной действующим ГОСТ [10]. По окончании процесса главного брожения соленые огурцы помещали в холодильник при температуре 4-6°C.

При проведении исследования проводили сенсорный анализ качества готового продукта и определяли некоторые физико-химические показатели качества, нормируемые ГОСТ 34220-2017 «Овощи солёные и квашеные. Общие технические условия» [11].

Органолептическую оценку соленых овощей проводили по 50-балльной шкале. К определяемым органолептическим показателям относится внешний вид огурцов (однородность плодов по размеру и окраске, наличие деформированных плодов, плодов с искривлениями, но не уродливых, помятых, морщинистых плодов), цвет, вкус, запах и консистенция. Опираясь на описание данных показателей в технических условиях указанного стандарта, производили оценку качества плодов, качество рассола оценивали по степени мутности [12]. При данной оценке получили следующие уровни качества: отличное (при сумме баллов более 41,0 балла); хорошее (при сумме баллов от 31,0 до 40,0 баллов); удовлетворительное (при сумме баллов от 21,0 до 30,0 баллов); неудовлетворительное (при сумме баллов менее 20,0 баллов).

В рассоле готовых соленых огурцов определяли физико-химические показатели – титруемую кислотность (в пересчете на молочную кислоту) и массовую долю хлорида натрия (поваренной соли). Эти показатели определяли стандартными методами [13, 14].

Результаты органолептической оценки исследуемых образцов солёных огурцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты органолептической оценки образцов огурцов солёных, в баллах

Наименование показателя	Оценка образцов, в баллах с учётом коэффициента весомости				Максимальный балл
	1	2	3	4	
Внешний вид	6	7	10	8	10
Цвет	4	4	5	3	20
Вкус и запах	16	12	16	12	5
Консистенция	6	4	8	8	10
Качество рассола	4	3	5	3	5
Общая оценка	36	30	44	34	50

Органолептический анализ показал, что по внешнему виду все огурцы образцов 3 и 4 были примерно

одного размера, не помятые, не увядшие. По цвету и консистенции у всех образцов отмечалось следующее: все огурцы были зеленовато-оливкового цвета, без посторонних пятен и ожогов, крепкие с плотной мякотью, с недоразвитыми водянистыми, некожистыми семенами. Огурцы были полностью пропитаны рассолом, хрустели при надкусывании. Основные отличия были отмечены во вкусе и запахе. В образцах 1 и 3 аромат был ярко выраженный от добавленных пряностей. В образцах 2 и 4 аромат был слабый чесночный. Во всех образцах был отмечен характерный для соленых овощей вкус с привкусом добавленных пряностей, но образцы 3 и 4, приготовленные с использованием стартовых культур микроорганизмов, были немного кислее на вкус и имели более насыщенный аромат. Это можно объяснить тем фактом, что гетеро ферментативные бактерии *Lactobacillus plantarum 8P-A3* и *Lactobacillus fermentum 39* обладают хорошими ароматизирующими свойствами и накапливают достаточное количество летучих веществ, таких как диацетил, ацетоин, которые и формируют аромат готового продукта [15]. Образцы, приготовленные с использованием эпифитной микрофлоры сырья, были менее кислого вкуса и не с таким ярко выраженным ароматом. На сенсорный анализ повлиял и ингредиентный состав пряностей, образцы с большим количеством пряностей получили более высокие оценки дегустаторов.

Органолептические исследования были подтверждены физико-химическими показателями.

Результаты определения массовой доли хлоридов показал, что во всех образцах содержится одинаковое количество – 2,9%. Это ожидаемый результат, т.к. во всех образцах использовался один рассол.

Результаты определения массовой доли титруемых кислот в рассоле (в пересчете на молочную кислоту), % после 72 часов брожения представлены на рисунке 1.

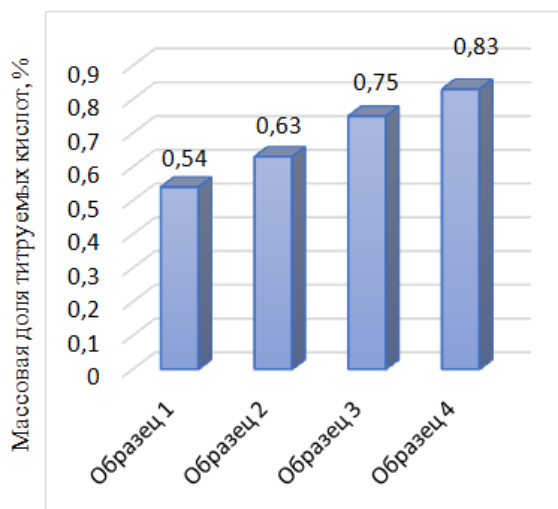


Рисунок 1 – Массовая доля титруемых кислот в исследуемых образцах огурцов в пересчёте на молочную кислоту после 72 часов брожения, %

Анализ данных, представленных на диаграмме рисунка 1, показывает, что массовая доля титруемых

кислот у образцов, приготовленных с использованием стартовых культур микроорганизмов, составляла 0,75-0,83% в пересчёте на молочную кислоту. У образцов, сквашенных эпифитной микрофлорой сырья, массовая доля титруемых кислот составляла 0,54-0,63% в пересчёте на молочную кислоту. По стандарту массовая доля титруемых кислот в рассоле в пересчёте на молочную кислоту для солёных огурцов должна находиться в интервале 0,6-1,2%. Образцы, заквашенные с использованием стартовых культур микроорганизмов, быстрее набрали требуемую кислотность.

Результаты определения массовой доли титруемых кислот в рассоле (в пересчёте на молочную кислоту), % после 312 часов брожения представлены на рисунке 2.

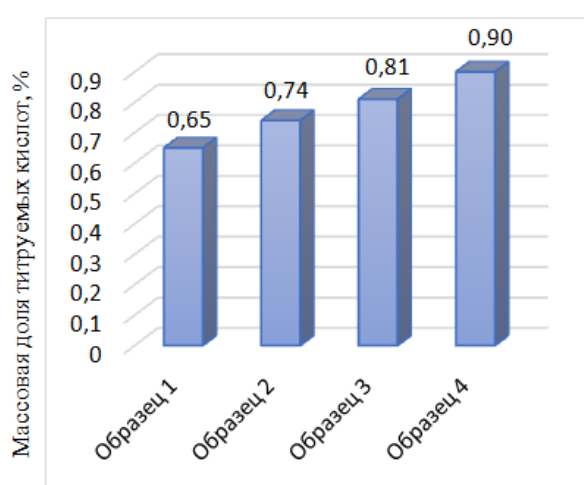


Рисунок 2 – Массовая доля титруемых кислот в исследуемых образцах огурцов в пересчёте на молочную кислоту после 312 часов брожения, %

Анализ данных, представленных на диаграмме рисунка 2, показывает, что при холодильном хранении ферментированных огурцов массовая доля титруемых кислот у образцов, приготовленных с использованием стартовых культур микроорганизмов, нарастала медленнее и составила 0,81-0,90% в пересчёте на молочную кислоту. У образцов, сквашенных эпифитной микрофлорой сырья, массовая доля титруемых кислот нарастала активнее и составила 0,65-0,74%. Полагаем, это связано с тем фактом, что температура 4-6°C для используемых культур лактобацилл неблагоприятна, поэтому они замедляют свой рост и накопление продуктов метаболизма.

Кислотность среды влияет на срок хранения солёных огурцов. По литературным данным известно, что молочная кислота в концентрации 0,7-0,8% способна подавлять жизнедеятельность гнилостных микроорганизмов, поэтому так важно, чтобы при ферментации была достигнута необходимая кислотность [16]. Для того, чтобы достичь более высокого показателя титруемой кислотности в огурцах, полученных методом самопроизвольного брожения, нужно этот процесс проводить более длительное время. Это для промышленного производства экономически не выгодно. Поэтому действующий стандарт позволяет для

достижения необходимой кислотности вводить экзогенно молочную кислоту. Этим и пользуются многие производители для достижения требуемого уровня содержания органических кислот. Тот же нормативный документ разрешает использование заквасочных культур микроорганизмов. При выборе стартовых культур микроорганизмов для ферментации сырья важным показателем является их кислотообразующая активность, позволяющая прогнозировать протекание процесса молочнокислого брожения [17, 18].

В нашем случае на накопление органических кислот оказало влияние и наличие пряностей: в образцах с большим количеством пряного сырья в заливке накопилось меньше титруемых кислот. Можно предположить, что используемые пряности тормозят рост и размножение молочно-кислых бактерий. Это связано с тем фактом, что пряности содержат фитонциды – антибиотические вещества, которые и замедляют рост и развитие микроорганизмов [19].

Необходимо также отметить, что используемые в нашем случае молочно-кислые бактерии *Lactobacillus plantarum* 8P-A3 и *Lactobacillus fermentum* 39 обладают пробиотическими свойствами, поэтому их применение в производстве значительно повышает биологическую ценность готового продукта [20, 21].

По результатам многочисленных исследований, проведённых отечественными и зарубежными учёными в последние годы, установлено, что многие из штаммов *Lactobacillus plantarum* имеют выраженную антагонистическую активность по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. Использование этих микроорганизмов в производстве пищевых продуктов повышает иммунитет у людей, потребляющих такую продукцию [22].

При выборе бактерий в качестве стартовых культур микроорганизмов при промышленной ферментации растительного сырья необходимо учитывать целый комплекс показателей такие как, кислотообразующие, газообразующие, ароматообразующие и антагонистические свойства используемых штаммов молочно-кислых бактерий [23].

Заключение. Солёные огурцы изготавливаются нетермическим методом консервирования. При таком способе заготовки консервирующее действие на микрофлору оказывают поваренная соль и молочная кислота, образовавшаяся при брожении. Солёные огурцы отличаются от свежих органолептическими и физико-химическими показателями качества.

В условиях холодильного хранения происходит медленное накопление молочной кислоты, которая является антагонистом гнилостных и патогенных микроорганизмов.

При изготовлении солёных огурцов с использованием эпифитной микрофлоры сырья процесс накопления молочной кислоты протекает медленнее.

При переработке овощей биотехнологическими методами в промышленных масштабах для достижения необходимого количества титруемых кислот в рассоле солёных огурцов, а также для получения

готового продукта с определёнными сенсорными и физико-химическими показателями целесообразно использовать целенаправленную ферментацию растительного сырья. Для этой цели подойдут стартовые культуры молочнокислых бактерий с определёнными, заранее известными свойствами. Применение стартовых культур микроорганизмов позволяет управлять процессом ферментации: ускорить процесс брожения и контролировать качество готовых солёных огурцов.

Одним из главных критериев выбора молочно-кислых бактерий в качестве стартовых культур микроорганизмов является их интенсивность кислотообразования.

Применение *Lactobacillus plantarum* в качестве стартовых культур микроорганизмов позволяет получить готовый продукт повышенной биологической ценности.

Способность *Lactobacillus plantarum* к антагонизму по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам оказывает положительное влияние на организм человека и помогает поддерживать здоровый образ жизни.

Для улучшения органолептических показателей солёных огурцов целесообразно использовать больше пряностей в заливке, но при этом стоит иметь в виду, что многие виды пряного растительного сырья: чеснок, хрен, а также семена укропа и перца, содержат фитонциды, поэтому обладают антибиотическими свойствами и тормозят развитие молочно-кислых бактерий, поэтому при использовании большого количества пряно-ароматического сырья, норму внесения заквасочных культур микроорганизмов рекомендует увеличить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Белокурова Е.С., Борисова Л.М., Панкина И.А. Ферментация традиционного растительного сырья для получения функциональных пищевых продуктов // Актуальная биотехнология. 2015 – №1 (12) – С.13-17.
2. Асфондьярова И.В. Актуальные вопросы качества маринованных томатов // Сборник трудов научно-практической и учебной конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли». Ч.3. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та – 2018. – С. 330-334.
3. Асфондьярова И.В., Кузнецова Ю.С. Актуальные вопросы качества соленой овощной продукции в торговле // 4-я Международная научно-практическая конференция «Технология производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров» (5 апреля 2018). ЮЗГУ, Курск, 2018. С.10-15.
4. Рынок огурцов в России 2020: исследование и прогноз до 2024 г. <https://marketing.rbc.ru/research/40449/> Дата обращения 27.07.2020
5. Белокурова Е.С., Борисова Л.М., Панкина И.А. Овощные ферментированные напитки. // Научный журнал НИУ ИТМО Серия: процессы и аппараты пищевых производств. 2015 – №1 – С. 173-179.
6. Белокурова Е.С., Старостенко И.Э., Борисова Л.М. Исследование качества белокочанной капусты, консервированной методом ацидоаноанабиоза // Актуальная биотехнология. 2016 – №2 – С. 8-14.
7. Павловская Л.М., Голубева С.Н. Перспективные направления научных исследований процессов консервирования овощей и фруктов: производство ферментированных продуктов. Пищевая промышленность: наука и технологии. 2017;(1):63-68.
8. Britta Wiander. Lactic Acid Fermentation of Fruits and Vegetables // Food biology series/ Paramithiotis S. (ed.). Boca

Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2017. – P.65-78.

9. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания Справочник. — М.: ДеЛи плюс, 2012. — 284 с.

10. Колобов С.В. Технология, товароведение и экспертиза продуктов переработки плодов и овощей: Учебн. пособие - М.: Дашков и Ко, 2009. - 113 с.

11. ГОСТ 34220-2017 Овощи соленые и квашеные. Общие технические условия М.: Стандартиформ, 2018

12. Выговтов А.А. Теоретические и практические основы органолептического анализа продуктов питания: учеб. Пособие / А.А. Выговтов — СПб.: ГИОРД, 2010. – 232 с.

13. ГОСТ 25555.0-82. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. - М: Изд-во стандартов, 1990. – 10 с.

14. ГОСТ 26186-84 Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Методы определения хлоридов (с Изменениями N 1, 2) - М.: Стандартиформ, 2010.

15. Лысак, В.В. Микробиология : учеб. пособие / В. В. Лысак. – Минск : БГУ, 2007. – 261 с.

16. Щеглов, Н.Г. Технология консервирования плодов и овощей / Н.Г. Щеглов. – М.: Издательство «Палеотип», 2002. - 380 с.

17. Белокурова Е.С., Иванченко О.Б. Биотехнология продуктов растительного происхождения – Изд-во «Лань», 2019. – С. 232.

18. Посокина Н.Е., Лялина О.Ю., Захарова А.И., Шишлова Е.С., Терешонок В.И. Научно-обоснованные подходы к процессу ферментации овощей и преимущества использования бактериальных заквасочных культур. Овощи России. 2018;(5):77-80. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-77-80>

19. Щеглов, Н.Г. Технология консервирования плодов и овощей: учебно-практическое пособие/Н.Г. Щеглов. – М.: Издательство «Палеотип»: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко». – 2002. – 380 с.

20. De Vries, Maaik Lactobacillus Plantarum - survival, functional and potential probiotic properties in the human intestinal tract. Science Direct, Sept. 2006. Web. 15 May 2017.

21. Maldonado A., Jimenez-Diaz R., Ruiz-Barba J.L. Induction of plantaricin production in *Lactobacillus plantarum* NC8 after coculture with specific gram-positive bacteria is mediated by an autoinduction mechanism // J. Bacteriol. 2004. V. 186. No 5. P. 1556-1564.

22. Функ, И.А., Иркитова, А.Н. (2015). Оценка антагонистической активности коллекционных штаммов *Lactobacillus plantarum*. Acta Biologica Sibirica,1 (1-2), 85-93. <http://dx.doi.org/10.14258/abs.v1i1-2.844>

23. Иркитова, А.Н. Методы определения антагонистической активности молочнокислых бактерий [Текст] / А.Н. Иркитова, Я.Р. Каган – Барнаул: ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия Россельхозакадемии, 2011 – 10 с.

Статья поступила в редакцию 03.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 664.664

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0013

**К ВОПРОСУ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОДУКТАМИ ПЕРЕРАБОТКИ
ТОПИНАМБУРА И КАЛЬЦИЕМ**

© 2022

Бочкарева Зенфира Альбертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые производства»**Пчелинцева Ольга Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые производства»**Сагандыкова Сабина Кудайбергеновна**, студент кафедры «Пищевые производства»**Трифоновна Кира Александровна**, магистрант кафедры «Пищевые производства»*Пензенский государственный технологический университет**(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11,**e-mails: bochkarievaz@mail.ru, pchelincevaon@yandex.ru, sabina.s.0016@gmail.com, kira13tr@yandex.ru)*

Аннотация. В статье рассмотрена целесообразность обогащения пшенично-ржаных мелкоштучных булочных изделий порошком топинамбура и кальцийсодержащей добавкой. Мелкоштучные булочные изделия являются чрезвычайно популярными, т.к на их основе производятся изделия фаст-фуда. Разработка булочных изделий, обогащенных функциональными ингредиентами, остается актуальной. В работе изучены органолептические, физико-химические показатели булочных изделий с порошком топинамбура и цитратом кальция. Установлено, что добавление цитрата кальция не повлияло на превышение регламентированных значений кислотности, но способствовало повышению содержания кальция в готовых изделиях в 16 раз по сравнению с контрольным образцом. Пористость образцов снижалась по сравнению с контрольным образцом. Изучены органолептические показатели качества готовых булочных изделий с порошком топинамбура и цитратом кальция. Показано, что все изделия соответствуют требованиям к булочным изделиям в соответствии с ГОСТ 27844-88. Внесение порошка топинамбура и замена части пшеничной муки 1 сорта ржаной мукой в рецептуре булочных изделий способствуют повышению пищевой ценности изделий.

Ключевые слова: изделия, хлебобулочные, цитрат кальция, порошок топинамбура.

ABOUT ENRICHMENT BAKERY PRODUCTS WITH RECYCLED SUNCHOKE AND CALCIUM

© 2022

Bochkareva Zenfira Albertovna, candidate of technical sciences,

associate professor of the department «Food Production»

Pchelinceva Olga Nikolaevna, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Food

Production»

Sagandykova Sabina Kydaibergenovna, student of the department «Food Production»**Trifonova Kira Alexandrovna**, master's student of the department «Food Production»*Penza State Technological University**(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11,**e-mails: bochkarievaz@mail.ru, pchelincevaon@yandex.ru, sabina.s.0016@gmail.com, kira13tr@yandex.ru)*

Abstract. An advisability of enrichment bakery products with sunchoke powder and calcium addition is explored. Bakery products are extremely popular because of using at fast-food production. A problem of developing of bakeries with functional ingredients is still relevant. Organoleptic and chemical indexes of bakery products with sunchoke powder and calcium citrate are analyzed in the article. It is determined that addition of calcium citrate did not influence at exceeding of acidity measure but caused an increase of calcium for 16 times in comparison with checking sample. Porosity decreased. Organoleptic indexes are studied. All samples correspond to requirements of State Standard 27844-88 for bakery products. Addition of sunchoke powder and substitution a portion of 1st grade flour by rye flour contribute to increase of bakeries food value.

Keywords: bakery products, calcium citrate, sunchoke powder.

Введение. В настоящее время перед хлебопекарной отраслью стоит ряд проблем, одна из которых расширение ассортимента хлебобулочных изделий с использованием нетрадиционного и нового сырья с целью обеспечения населения страны сбалансированными и функциональными продуктами [1, 2]. Потребление хлеба падает, но в современном мире мелкоштучные хлебобулочные изделия являются чрезвычайно популярными, т.к на их основе производятся изделия фаст-фуда, бургеры, хот-доги и т.д. [3]. При производстве этих изделий широко используется не только пшеничная мука, но и другие виды муки из зерновых,

а также полезные добавки. Традиционные хлебопекарные виды муки в производстве хлеба зачастую обладают пониженной пищевой ценностью. Данный вопрос производители решают, обогатив повседневную пищу, к которой относятся и хлебобулочные изделия, различными полезными элементами. Для технологического решения при создании функциональных продуктов добавляют в первую очередь те пищевые ингредиенты, дефицит которых реально имеет место. Благодаря использованию в рационе хлебобулочных изделий человек частично удовлетворяет потребности организма в витаминах и минеральных веществах, например, в

фосфоре, сере, калии и магнии, а также в тиамине (B1), рибофлавине (B2) и никотиновой кислоте (PP). Кальций именно такой элемент, который в хлебобулочных изделиях содержится в незначительных количествах по сравнению со среднесуточной физиологической нормой [4]. Дефицит минерального элемента кальция в рационе на среднего жителя в России выявляется примерно в 60% [5]. Поэтому обогащение хлебобулочных изделий кальцием остается проблемой и решение этого вопроса актуальной задачей. Целесообразность использования кальцийсодержащих добавок при производстве хлеба рассмотрена в ряде работ [4, 6-8]. Ассортимент кальцийсодержащих добавок с кальцием достаточно широк (глюконат кальция, карбонат кальция, лактат кальция и пр.). Лактат и глюконат кальция содержат довольно мало элементарного кальция – 13% и 9%, соответственно. Хлорид кальция применяется в основном в растворах. Поэтому реально противостоят друг другу только два конкурента: цитрат кальция и карбонат кальция [4].

Ценным источником ряда биологически активных веществ является клубнеплод – топинамбур. Он содержит аминокислоты, пищевые волокна, минералы [9-11]. Использованию топинамбура в свежем виде для хлебопечения препятствует трудность в обработке, значительные потери в процессе хранения. На продовольственном рынке топинамбур представлен в основном в переработанном виде: в виде экстрактов, таблеток, порошков, муки, хлопьев [12]. Топинамбур в переработанном виде используют в качестве добавок как пищевое волокно, для обогащения инулином – природным полисахаридом с содержанием 95% фруктозы, с целью повышения ценности по микро- и макроэлементному составу [13].

Значимость использования продуктов переработки топинамбура в хлебопечении доказана многими работами [14-20]. По аминокислотному составу белок топинамбура достаточен по всем незаменимым аминокислотам, кроме лизина. Таким образом, топинамбур является продуктом, оказывающим позитивное воздействие на функции организма человека и его можно использовать для производства продуктов функционального питания [12, 16].

Целью исследования является совершенствование технологии пшенично-ржаных мелкоштучных булочных изделий с порошком топинамбура и кальцийсодержащей добавкой для повышения пищевой ценности изделий.

Материалы и результаты исследования. Объектами исследований послужили мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, соответствующая требованиям ГОСТ 26574-2017; мука ржаная хлебопекарная обойная (ГОСТ Р 7045-2017); порошок из клубней топинамбура по ТУ10.39.13-009-20852136-2019, произведенный ООО «Успех» (Россия, Санкт-Петербург); контрольный образец булочки «Дорожная» по рецептуре №169 сборника технических нормативов и модельные образцы булочных изделий с заменой части муки пшеничной 1 сорта порошком топинамбура в

количестве 5% (образец №1), 10% (образец №2), 15% (образец №3) и цитратом кальция в количестве 2% к массе муки. В модельных образцах мука ржаная составляет 30%, мука пшеничная 1 сорта + порошок топинамбура – 70%.

Для комплексной оценки сырья и готовых изделий использовались общепринятые методы исследований. Органолептические показатели изучали по общепринятым методам, по пятибалльной шкале. Качество муки пшеничной определяли по ГОСТ 26574 и качество муки ржаной обойной по ГОСТ Р 7045; массовую долю влаги по ГОСТ 9404. Показатели качества готовых изделий оценивали: органолептические показатели по ГОСТ 5667, влажность по ГОСТ 21094, кислотность по ГОСТ 5670, пористость по ГОСТ 5669.

Для обоснования использования порошка топинамбура в производстве булочных изделий был исследован ряд показателей, характеризующих физико-химический, минеральный и витаминный состав порошка и органолептические показатели, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептические показатели порошка топинамбура

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Порошок
Цвет	Светло-кремовый
Запах	Не ярко выраженный
Вкус	Сладковатый, свойственный топинамбуру

Не все виды муки содержат минеральный элемент кальций, хотя в некоторых видах муки он есть, но его содержание невелико. Для производства мелкоштучных булочных изделий часть муки первого сорта была заменена на муку ржаную обойную, как более насыщенную макро- и микроэлементами. Мука ржаная обойная содержит в 2 раза больше кальция, чем пшеничная мука. Поэтому включение в состав булочных изделий муки ржаной хлебопекарной обойной будет способствовать повышению содержания кальция в изделиях.

В таблице 2 приведены данные по составу порошка топинамбура, муки пшеничной первого сорта и муки ржаной обойной [12, 21].

При анализе таблицы 2 отмечено, что содержание белков в порошке топинамбура меньше, чем в муке пшеничной 1 сорта и муке ржаной обойной, используемых для изготовления изделий. Содержание жиров и углеводов в растительном сырье отличается незначительно. Самое большое количество пищевых волокон содержится в муке ржаной обойной. Порошок топинамбура превосходит пшеничную по количеству минеральных веществ, при этом количество кальция выше по сравнению с мукой пшеничной в 8,5 раз, а по сравнению с ржаной мукой в 5,2 раза. Содержание витаминов в порошке топинамбура и в муке небольшое. Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что использование порошка топинамбура для разработки булочных изделий допустимо.

Таблица 2 – Химический состав порошка топинамбура, муки пшеничной первого сорта и муки ржаной обойной

Показатели	Порошок топинамбура	Мука пшеничная 1 сорта	Мука ржаная обойная
Белки, г	4,7	10	10,7
Жиры, г	2,22	1,3	1,9
Углеводы, г	73,1	69,9	61,8
Пищевые волокна, г	11,13	4,9	13,3
Минеральные вещества, мг%:			
Магний	107,7	44	94
Железо	9,8	2,7	4,1
Фосфор	307,8	115	336
Калий	429	176	310
Кальций	204	24	39
Витамины, мг%:			
Витамин РР	1,3	2,2	1,2
Витамин В1	0,2	0,25	0,42
Витамин В2	0,06	0,08	0,15
Витамин С	4	0	0
Витамин Е	0,19	1,8	2,2

Рецептуры булочных изделий были разработаны на основе математического моделирования композиции с учетом целевой функции: содержание кальция должно быть не меньше 15% на 100 гр изделия.

В ходе исследования была проведена оценка контрольного образца и трех разработанных рецептур булочного изделия с добавлением порошка топинамбура с целью выбора образца с лучшими органолептическими показателями. Результаты органолептических показателей готовых булочных изделий с добавлением порошка топинамбура и цитрата кальция определяли в соответствии с ГОСТ 27844 в остывшем виде.

В результате исследования органолептических показателей было установлено, что при увеличении в ре-

цептуре количества порошка топинамбура в изделиях происходит усиление цвета, запаха и вкуса топинамбура. Цитрат кальция не придает кислотоватого привкуса. Цвет контрольного образца светлый, образцы с добавлением топинамбура имеют цвет светло-коричневый. С увеличением дозировки порошка изделия приобретают вкус свойственный топинамбуру и сладковатость. Наиболее высокую оценку получили изделия с 10% и 15% порошка топинамбура. На рисунках 1, 2 видно, что по цвету, пористости изделия с 10% и 15% порошка топинамбура мало отличаются друг от друга.

Физико-химические показатели булочных изделий с добавлением порошка топинамбура представлены в таблице 3.



Рисунок 1 – Внешний вид булочных изделий и на разрезе с 10% порошка топинамбура



Рисунок 2 – Внешний вид булочных изделий и на разрезе с 15% порошка топинамбура

Таблица 3 – Физико-химические показатели булочных изделий с добавлением порошка топинамбура и цитрата кальция

Наименование показателя	Контрольный образец	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Массовая доля влаги, %	28	42,4	41,8	40,9
Кислотность мякиша, град	3,8	6,7	6,7	6,7

Установлено, что влажность опытных образцов имела тенденцию к увеличению по сравнению с контрольным образцом, т.к. частичная замена пшеничной муки на ржаную повышает влажность изделий. Показатели кислотности не превысили регламентированных требований нормативного документа, несмотря на содержание цитрата кальция. От пористости мучных выпеченных мучных изделий зависит его усвояемость. Нижний предел пористости для изделий из пшенично-ржаной муки составляет 47%. Исследование пористости булочных изделий с топинамбуром и цитратом кальция показало, что пористость образцов снижалась по сравнению с контрольным образцом. Эти изменения связаны с частичной заменой муки на порошок топинамбура. Известно, что белковые вещества пшеничной муки на 80% состоят из проламинов и глютенинов, а основными белками в клубнях топинамбура являются альбумины (58,2-61,5%). Клейковина (глютен) хлеба формируется, в том числе, за счет белков – глиадина и глютенина. Глютен играет важную роль при выпечке хлеба и образовании его пористости [19]. Но глютен не содержится в ржаной муке и топинамбуре. Поэтому пористость изделий немного ухудшилась. Показатели пористости контрольного образца и булочных изделий с порошком топинамбура и цитратом кальция показаны на рисунке 3.

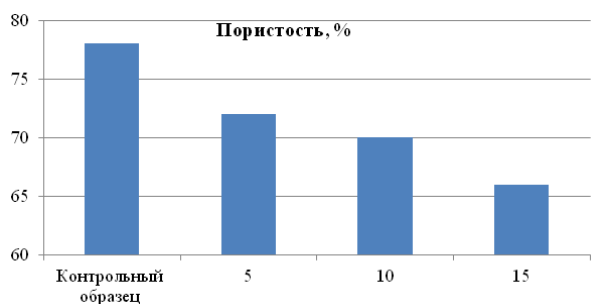


Рисунок 3 – Показатели пористости изделий

На рисунке 4 представлены показатели пищевой и энергетической ценности изделий.

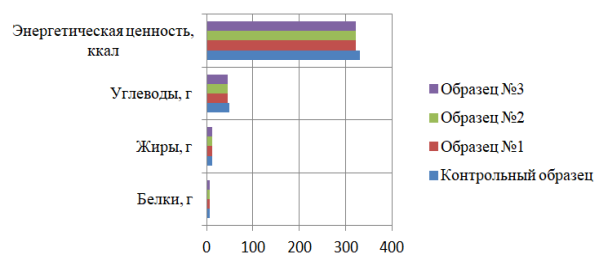


Рисунок 4 – Пищевая и энергетическая ценность булочных изделий

По результатам, приведенным на рисунке 4, можно сделать следующий вывод: внесение порошка топинамбура и замена части муки 1 сорта ржаной мукой в рецептуре булочных изделий немного уменьшает долю содержания белков, т.к. порошок топинамбура содержит меньше белков по сравнению с мукой зерновых. Содержание углеводов и энергетическая ценность незначительно уменьшаются, но при этом необходимо учитывать сам состав углеводов. Большая часть углеводов представлена полезным инулином и сложными углеводами, в отличие от изделий с мукой пшеничной 1 сорта, содержащей легкоусвояемые углеводы.

Произведен расчет минеральных веществ контрольного образца и образца №2 булочного изделия с добавлением порошка топинамбура (с заменой муки пшеничной 1 сорта на 10% порошка топинамбура). Данный образец более других отвечает требованиям к данной группе изделий. Т.к. цитрат кальция вводится в изделия с целью повышения функциональности продукта, важно определить его содержание в булочном изделии. К наиболее дефицитным минеральным веществам в питании современного человека кроме кальция, относятся железо, магний, калий. Выполнен сравнительный анализ по этим веществам в таблице 4.

Из данных таблицы можно сделать выводы, что в пшенично-ржаных булочных изделиях с порошком топинамбура и цитратом кальция количество минеральных веществ возрастает: кальция в 16 раз, магния на 38%, калия на 26%, железа на 38%.

Таблица 4 – Минеральный состав образцов булочных изделий

Минеральные вещества	Контрольный образец, мг	Массовая доля порошка топинамбура, %		
		5	10	15
Магний	25,3	33,79	34,95	36,18
Калий	95,16	115,74	119,94	124,4
Кальций	15	237,9	241,1	244,45
Железо	1,42	1,95	1,96	1,97

Таким образом, введение порошка топинамбура и цитрата кальция положительно скажется на минеральном составе изделий. Проводя анализ данных можно сказать, что количество всех минеральных элементов, кроме кальция, не позволяет отнести продукт к функциональным. Добавление же цитрата кальция позволит говорить о том, что пшенично-ржаные булочные изделия с цитратом кальция и порошком топинамбура позволят включить их в группу функциональных изделий.

Введение порошка топинамбура и замена муки пшеничной на муку ржаную повысит содержание пищевых волокон. Содержание пищевых волокон в контрольном образце составляет 3 г и в образцах 1; 2 и 3 соответственно 4,7; 4,9 и 5 г на 100 г изделия. Таким образом, все образцы, включая и контрольный, содержат достаточное количество пищевых волокон. В контрольном образце это связано с тем, что используется пшеничная мука 1 сорта, а не высшего. В образцах 1, 2, 3 содержание пищевых волокон возрастает с увеличением количества порошка топинамбура. В образце

№1 количество пищевых волокон возрастает по сравнению с контрольным образцом на 53%, в образце №2 – на 58%, в образце №3 – на 62%. 100 г пшенично-ржаной булочки с добавлением порошка топинамбура обеспечивает суточную физиологическую норму употребления пищевых волокон на 20-25%, что является хорошим показателем содержания пищевых волокон.

Заключение. Обобщая вышеизложенное, справедливо, что использование в технологии булочных изделий цитрата кальция является целесообразным с точки зрения повышения его минерального состава. По результатам оптимизации и моделирования рецептур определено, что количество кальцийсодержащей добавки – цитрата кальция должно быть не менее 2% к массе муки. Во всех изделиях добавляется одинаковое количество цитрата кальция, т.к. масса муки в разных соотношениях одинакова. Изучены физико-химические показатели булочных изделий с порошком топинамбура и цитратом кальция. Определена оптимальная дозировка порошка топинамбура и цитрата кальция в рецептуре пшенично-ржаных булочных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аширова, Ю.А. Разработка технологии использования послеспиртовой барды из топинамбура в технологии хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Аширова Юлия Алимжановна. – Москва, 2009. – 26 с.
2. Ермош Л.Г., Березовикова И.П. Технология хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов с использованием муки из топинамбура // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 4. – С. 11-17.
3. Бочкарева, З.А. Изделия хлебобулочные мелкостручные повышенной пищевой ценности. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 94-99.
4. Вотинова, Е. М. Изучение влияния кальцийсодержащих добавок на потребительские свойства хлебобулочных изделий функционального назначения : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01/ Вотинова Евгения Минневарисовна. – Кемерово, 2008. – 20 с.
5. Палагина, М.В. Функциональные продукты питания, обогащенные биоусвояемым кальцием / М.В. Палагина // Известия Вузов, Пищевая технология. №4 – 2010 – С. 55-57
6. Пат. 2011147903 Российская Федерация, МПК А21D 8/00 Способ производства хлеба, обогащенного кальцием / Мельникова О.В. заявитель и патентообладатель ООО «Новая мельница».2011147903/13; заявл. 2011.11.24; опубл. 2013.05.27.
7. Коробова, Н.П. Научно-практическое обоснование технологии хлебобулочных изделий обогащенных кальцием : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15. / Н.П. Коробова. - Орел.; 2002. - 21 с.
8. Пат. 2206210 Российская Федерация, МПК А21D 8/02 Способ производства дрожжевого теста /Корячкина С.Я., Киселева Н.П. заявитель и патентообладатель: Орловский государственный университет».- 200110473/13; заявл. 2001.02.13; опубл. 2003.06.20.
9. Шаззо, Р.И. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра): монография / Р.И. Шаззо, В.Г. Кайшев, Р.А. Гиш, Р.И. Екутеч, Е.П. Корнена; под ред.Р.И. Шаззо. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2013. – 184 с.
10. Васильева, Е.А. Использование добавок из топинамбура для расширения ассортимента продукции / Е.А. Васильева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. - № 1. – С. 51-54.
11. Данилов, К.П. Топинамбур: монография / К.П. Данилов. - Чебоксары: Новое время, 2013. – 202 с.
12. Баранова, А.Г. Разработка технологии сухих диабетических продуктов из клубней топинамбура: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Баранова Алла Геннадьевна. – Краснодар, 2015. – 140 с.
13. Хайруллина, З.А. Совершенствование технологии производства инулинсодержащих продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / Хайруллина Зульфия Асхатовна. – Казань, 2016. – 164 с.
14. Ермош Л.Г., Березовикова И.П. Технология хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов с использованием муки из топинамбура // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 4. – С. 11-17.
15. Пат. U2128439C1 Российская Федерация, МПК А21D13/08, А21D8/ Способ производства хлебобулочных и мучных изделий с использованием топинамбура / Заявитель и патентообладатель Зеленков В.Н./ 96112095А/99; заявл. 1996.06.14; опубл. 1999.04.10.
16. Рябова, В. Ф. Пищевая добавка из топинамбура для производства хлебобулочных изделий с лечебно-профилактическими свойствами / В. Ф. Рябова, С. Ш. Латыпова, Е. Е. Ходакова, Д. Э. Миллер.// Молодой ученый. — 2015. — № 23 (103). — С. 217-219.
17. Сафронова К.В. Определение показателей качества готового хлеба из ржано-пшеничной муки с порошком из топинамбура. В сборнике трудов конференции Евразийское пространство: добрососедство и стратегическое партнерство. Материалы VIII Евразийского экономического форума молодежи. Екатеринбург, 2017. С. 172-176.
18. Васильев А.С., Формирование показателей качества пшеничного хлеба при добавлении порошка топинамбура // А.С. Васильев Е.Н.Чумакова, Ю.Т. Фаринюк Ю.Т./ Вестник КрасГАУ. 2019. № 5 (146). С. 174-181.
19. Наумова Н.Л. Об эффективности применения порошка из клубней топинамбура в рецептуре зернового хлеба // Н.Л. Наумова,К.С. Каменева,К.В. Щевьева / Ползуновский вестник. 2019. №1. С. 71-75.
20. Денисюк Е.А., Домнищен А.А. Эффективность использования топинамбура для производства ржано-пшеничного хлеба В сборнике: Социально-экономические аспекты развития сельских территорий. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической интернет-конференции, посвященной 60-летию экономического факультета. Нижний Новгород, 2021. С. 379-381.
21. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под редакцией член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А.Тутельяна. - М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

Статья поступила в редакцию 09.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 663.1:577.15

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0014

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА БЫСТРОРАСТВОРИМЫХ ЗАВТРАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО КРАХМАЛА

© 2022

Устинова Юлия Владиславовна, кандидат технических наук, доцент
Шевченко Татьяна Викторовна, доктор технических наук, профессор
Попов Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор

*Кемеровский государственный университет
(650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6,*

e-mails: yul48888048@yandex.ru, tatyana.shevchenko.1948@mail.ru, popov4116@yandex.ru)

Узун Глеб Борисович, научный сотрудник Московского института стали и сплавов
*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС
(119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1, e-mail: uzunovgleb@edu.misis.ru)*

Аннотация. В настоящее время потребители употребляют полуфабрикаты, которые полезны для здоровья, безопасны и просты в приготовлении и употреблении в пищу в любых условиях. Из-за растущей популярности модифицированного картофельного крахмала в пищевой промышленности и широкой сферы использования, это исследование было сосредоточено на улучшении физической модификации нативного крахмала за счет кратковременного воздействия СВЧ-устройства. В результате было установлено, что предложенный способ модификации крахмала с использованием микроволновой энергии 200 Вт/ч оказал влияние на изменение гранул крахмала. Разработана рецептура быстрорастворимых завтраков, полученных с использованием модифицированного крахмала, проведена товароведная оценка качества. На протяжении 12 месяцев хранения органолептические и физико-химические показатели готовых завтраков существенно не изменились и оставались на высоком уровне по сравнению с контрольным образцом. Витамин С в процессе хранения быстрорастворимых завтраков уменьшается за счет протекающих гидролитических процессов под воздействием солнечных лучей, разрушая до 90% аскорбиновой кислоты. Процесс хранения завтраков сопровождается незначительным снижением общего содержания углеводов (потери на 12-м месяце хранения составили в среднем 1%). Влажность быстрорастворимых завтраков, хранившихся при 20±2°C, за 12 месяцев увеличивается в среднем на 4,4%, что и явилось причиной комкования. Существенного изменения цвета быстрорастворимых завтраков не наблюдалось. Посторонних привкусов и запахов не обнаружено. В целом, физико-химические показатели завтраков изменились незначительно.

Ключевые слова: картофельный крахмал, физическая модификация, быстрорастворимый завтрак, СВЧ-устройство, релаксация, сырье.

IMPROVING THE QUALITY OF FOOD PRODUCTS USING MODIFIED STARCH

© 2022

Ustinova Yulia Vladislavovna, candidate of technical sciences, associate professor

Shevchenko Tat'yana Viktorovna, doctor of technical sciences, professor

Popov Anatoly Mikhaylovich, doctor of technical sciences, professor

Kemerovo state University

(650000, Russia, Kemerovo, street Krasnaya, 6,

e-mails: yul48888048@yandex.ru, tatyana.shevchenko.1948@mail.ru, popov4116@yandex.ru)

Uzunov Gleb Borisovich, researcher at the Moscow Institute of Steel and Alloys

National Research Technological University "MISIS"

(119049, Moscow, Leninsky Prospekt, 4, p. 1, e-mail: uzunovgleb@edu.misis.ru)

Abstract. Currently, consumers consume semi-finished products that are healthy, safe and easy to prepare and eat in any conditions. Due to the growing popularity of modified potato starch in the food industry and the wide scope of use, this study focused on improving the physical modification of native starch through short-term exposure to a microwave device. As a result, it was found that the proposed method of starch modification using microwave energy of 200 W/ h had an effect on the change of starch granules. The formulation of instant breakfasts obtained using modified starch has been developed, a commodity quality assessment has been carried out. During 12 months of storage, the organoleptic and physico-chemical parameters of ready-made breakfasts did not change significantly and remained at a high level compared to the control sample. Vitamin C during the storage of instant breakfast is reduced due to the ongoing hydrolytic processes under the influence of sunlight, destroying up to 90% of ascorbic acid. The process of storing breakfast is accompanied by a slight decrease in the total carbohydrate content (losses on the 12th month of storage averaged 1%). The humidity of instant breakfasts stored at 20-2°C increases by an average of 4.4% over 12 months, which was the cause of clumping. There was no significant change in the color of instant breakfasts. No extraneous tastes and odors were detected. In general, the physico-chemical indicators of breakfast have changed slightly.

Keywords: potato starch, physical modification, instant breakfast, microwave device, relaxation, raw materials.

Введение. В последние годы можно наблюдать повышенный интерес к модифицированному крахмалу (производным крахмала). Как природный полисахарид (биополимер), крахмал является [1] одним из наиболее часто используемых продуктов в пищевой промышленности.

Принимая во внимание биоразлагаемость крахмала [2-3], на протяжении многих лет можно наблюдать многочисленные попытки модификации крахмала различного ботанического происхождения с целью расширения спектра применения этого материала, а также изменения его свойств. В текстильной промышленности крахмал используется в качестве связующего материала при производстве гофрокартона [4-7]. В пищевой промышленности, учитывая его природные свойства, крахмал используется для получения гелей [8-9], загустителей [10], а также носителей при распылительной сушке концентрированных фруктовых соков и в качестве крахмального сиропа [11-12]. Гранулы крахмала имеют неправильную и полигональную форму со средним размером 3,0 мкм [13] проявляя способность образовывать сферические агрегаты.

Наиболее известной модификацией крахмала является химическая модификация, которая вводит в систему добавление функциональных групп и имеют ограничения в качестве пищевой добавки. Одним из наименее инвазивных методов модификации крахмальных зерен, который также популярен в специализированной литературе, является физическая модификация [14-16]. Этот процесс основан на воздействии электромагнитного излучения на крахмальные зерна в микроволновом диапазоне [17-18]. К сожалению, излучение крахмала электромагнитными волнами оказывает негативное влияние на его свойства [19]. В настоящее время потребители ищут здоровую и безопасную пищу. Именно поэтому важно установить, какое влияние может оказать модифицирующее воздействие на картофельный крахмал. В связи с вышеизложенным, акцент делается на поиске неинвазивных модифицирующих методов, которые прежде всего не влияют на химический состав используемого продукта [20-21].

Для исследования использовали микроволновое излучение с малой мощностью воздействия. В настоящее время это один из самых современных методов определения поверхностной релаксации в продуктах [19] в процессе модификации. Этот метод не является вредным излучением (например, рентгеновское излучение), которое может оказать негативное влияние на исследуемый продукт [22].

Цель исследований – физическая модификация нативного крахмала, а также оценка влияния вышеуказанной модификации на процесс создания быстрорастворимых гранулированных завтраков.

Объектами исследований явились картофельный крахмал по ГОСТ Р 53876-2010, сухие быстрорастворимые завтраки.

В процессе разработки рецептуры сухого быстрорастворимого завтрака в качестве основного сырья

использовались: мука овсяная, яблоки сушеные, концентрат сывороточных белков, модифицированный крахмал картофельный, сахар-песок, витаминный премикс (ВП 77-14).

Материалы и результаты исследований. Исследования по модификации нативного крахмала проводились с использованием промышленного СВЧ-устройства с магнетроном 2,45 ГГц. Для модификации крахмала использовалась удельная мощность микроволнового излучения (50 и 200 Вт/ч), а время модификации составляло от 60 до 150 сек.

Образцы крахмала отличались различной степенью модификации и в дальнейшем использовались для приготовления крахмальных суспензий, которые после нагревания становились 5% гелями. Далее готовили растворы (по 10 мл каждый), состоящие из 0,5 г крахмала, дополненного дистиллированной водой, как для нативного, так и для модифицированного крахмала.

Определение органолептических, физико – химических показателей качества завтраков проводилось по ГОСТ 15133.3 [23], ГОСТ Р 702.1.024-2021 [24].

Исследования проводились в широком диапазоне температур, что позволило определить механизмы воздействия на молекулярном уровне. Исследования температуры крахмальной суспензии отражают влияние физической модификации крахмала на процесс гелеобразования в анализируемых образцах. Стоит отметить, что наблюдалась корреляция между временем релаксации и температурой, которая необходима при образовании гелей из суспензии (рис. 1). Этот процесс можно разделить на три направления. При нагревании суспензии картофельного крахмала можно наблюдать увеличение времени релаксации вместе с повышением температуры, что является эффектом образования энергии в системе. Далее можно наблюдать область, характеризующуюся преломлением, связанное с образованием полимерной сетевой структуры. Последняя область (для температур в диапазоне от 60°C до 90°C) показывает увеличение времени релаксации вместе с повышением температуры, как и в случае первой области. В процессе охлаждения образцов можно наблюдать монотонное уменьшение времени релаксации вместе с понижением температуры.

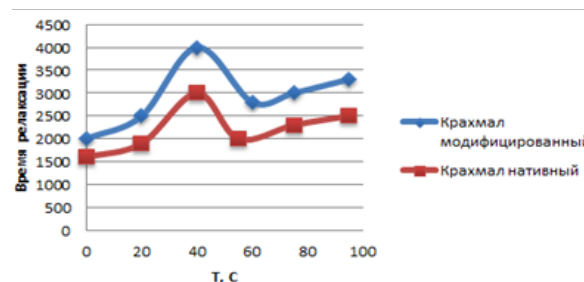


Рисунок 1 – Зависимость температуры от времени релаксации нативного картофельного крахмала

При анализе температурных зависимостей времени релаксации модифицированного картофельного крахмала (в процессе нагрева образцов) выявлено

явное снижение времени релаксации по сравнению с образцом нативного крахмала. Крахмал, подвергшийся воздействию СВЧ обработке, демонстрирует более быструю реорганизацию молекул воды, чем нативный. Образцы, которые подвергались физическим модификациям, определенно изменяли влажность (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры физической модификации при микроволновой обработке и влажности крахмала

Образцы крахмала	Время модификации (сек)	Мощность (Вт/ч)	Влажность, %
Нативный крахмал	-	-	34.45
1	60	50	36.57
2		200	25.90
3	90	50	23.65
4		200	15.67
5	120	50	18.34
6		200	10.55
7	150	50	13.47
8		200	5.66

Разработана рецептура быстрорастворимых завтраков на основе теоретических и практических исследований (табл. 2).

Таблица 3 – Физико-химические и органолептические показатели качества быстрорастворимых завтраков в процессе хранения

Наименование показателя	Продолжительность хранения, мес.			
	0 (контрольный образец)	4	8	12
Образец быстрорастворимого завтрака				
Внешний вид и консистенция, балл	6,0±0,07	5,95±0,05	5,89±0,11	5,80±0,12
Запах и вкус, балл	9,84±0,23	9,80±0,20	9,72±0,16	9,35±0,18
Цвет, балл	3,94±0,07	3,94±0,05	3,93±0,03	3,93±0,04
Суммарная балльная оценка, балл	19,78±0,37	19,69±0,30	19,54±0,30	19,08±0,34
Массовая доля углеводов, %, не менее	79,3±0,2	78,1±0,3	77,8±0,8	77,5±0,1
Массовая доля витамина С, мг/100 г	35,3±0,6	35,2±0,7	32,9±1,1	30,5±0,8
Массовая доля влаги, %	5,3±0,1	5,3±0,1	5,5±0,1	5,6±0,2
Время растворения, с	33±1	34±2	34±2	35±2

Показатели качества готовой продукции за 12 месяцев хранения существенно не изменились и оставались на высоком уровне.

За счет гидролитических процессов, как видно из таблицы 2, данные по витамину С в процессе хранения уменьшаются.

Общее содержание углеводов в процессе хранения завтраков сопровождаются незначительным снижением (составили в среднем 1% потери на 12-м месяце хранения). Органолептические показатели гранулята к концу срока хранения незначительно снижались. Способность частиц притягиваться друг к другу проявляется за счет когезии, которая является причиной комкования сухих продуктов. Содержание влаги в продукте регулирует величину когезии оказывая значительное влияние на нее. За счет образования жидкостной прослойки между частицами возникают капиллярные силы.

За 12 месяцев хранения влажность увеличилась на 4,4% за счет процесса комкования быстрорастворимого завтрака. Готовый продукт хранили при температуре 20±2°C. В целом, физико-химические показатели

Таблица 2 – Рецептура быстрорастворимых сухих завтраков, %

Наименование сырья	Содержание сырья в готовом завтраке, %
Мука овсяная, %	45
Модифицированный крахмал картофельный, %	8
Концентрат сывороточных белков, %	5
Яблоки сушеные, %	4
Сахар-песок, %	37,3
Витаминный премикс 77-14 (ВП 77-14), %	0,7
Итого:	100

Проведена товароведная оценка качества полученных с использованием модифицированного крахмала завтраков. Сухие завтраки массой нетто 150 г хранили в контейнерах, разрешенных для контакта с пищевыми продуктами. При температуре 20±2°C и относительной влажности воздуха 75±5% соблюдались режимы хранения разработанного продукта.

Быстрорастворимые гранулированные продукты хранили в течение 12 месяцев. В таблице 3 представлены физико-химические показатели и результаты статистической обработки дегустационной оценки качества, проведенной дегустационной комиссией кафедры «Управление качеством» ФГБОУ ВО «КемГУ».

завтраков изменились незначительно.

Заключение. Найдены приемы управления физико-химическими и технологическими свойствами крахмалов при кратковременном воздействии на него микроволн с частотой 2.45 ГГц в нетепловом режиме с мощностью 50 и 200 Вт/ч за счет конформационных изменений в макромолекулах крахмала с различным расположением в них гидроксильных групп и различной химической активностью. Разработана рецептура быстрорастворимых завтраков, полученных с использованием модифицированного крахмала, проведена товароведная оценка качества. Показатели качества быстрорастворимых за 12 месяцев хранения существенно не изменились и оставались на высоком уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Pshetachek-Rozhnovskaya, I.; Fortuna, T.; Vodnyak, M.; Labanovskaya, M.; Payonk, P.; Krolikovskaya, K. Properties of potato starch processed by microwave radiation and enriched with mineral additives. Int. J. Biol. Macromol. – 2019. – PP. 229-234.
2. Yang, L.; Liu, Yu.; Wang, S.; Zhang, X.; Yang, J.; Du, K. The relationship between the structure of amylo-pectin and

- the physico-chemical properties of starch during potato growth. *Int. J. Biol. Macromol.* – 2021. – 182. – PP. 1047–1055.
3. Колпакова В.В. Применение модифицированного пористого крахмала для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов / В.В. Колпакова, А.А. Папахин, З.М. Бородина, А.С. Сардж-веладзе, И.Ю. Васильев // *Техника и технология пищевых производств.* – 2020. – № 3. – С. 549-558. DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-549-558>.
4. Song, Yu.; Lin, Z.; Jiang, X.; Hou, L. Synergistic effect of surfactant and inorganic salt on the properties of starch/poly(vinyl alcohol) film. *Starch Stärke.* – 2018. – 70, 1700146.
5. Corre, D.L.; Braz, J.; Dufresne, A. Starch nanoparticles: Review. *Biomacromolecules* 2010, 11, 1139-1153.
6. Lin, L.; Yang, J.; Ni, S.; Wang, X.; Bian, H.; Dai, H. Resource utilization and modification of starch waste ionization during the processing of old corrugated cardboard paper. *D. Environment. Manag.* – 2020, 271, 111031.
7. Zheng, L.; Ren, A.; Liu, R.; Xing, Y.; Yu, H.; Jiang, H. The effect of sodium chloride solution on the quality of 3D-printed samples cast using wheat starch gel. *Food hydrocoll.* – 2022. – 123, 107197.
8. Galkovska, D.; Yushchak, L. The effect of amino acids on gelatinization, gluing and rheological properties of modified potato starches. *Food Hydrocoll.* – 2019. – 92. – PP. 143-154.
9. Agiemang, P.N.; Akonor, P.T.; Torto, K.; Johnson, P.N.T.; Manu-Aduening, J. The effect of the use of starches of three new varieties of Ghanaian cassava as a thickener on the physico-chemical, rheological and sensory properties of yogurt. *cf.* – 2020. – 9, e00521.
10. Орлова Т.В. Крахмал зерна квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.): состав, морфология и физико-химические свойства / Т.В. Орлова, М. Айдер // *Техника и технология пищевых производств.* – 2021. – № 1. – С. 98-112. DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-98-112>
11. Przybyl, K.; Gavalek, J.; Kosela, K.; Vavzhinyak, Y.; Hertz, L. Artificial neural networks and electron microscopy for assessing the quality of fruit and vegetable powders dried by spray. Example of use: Strawberry powder. *Computational. Electron. Agric.* – 2018. – 155. PP. 314-323.
12. Przybyl, K.; Samborskaya, K.; Kosela, K.; Masevich, L.; Pavlyak T. Artificial neural networks in assessing the influence of the type and content of the carrier on the selected quality parameters of spray-dried raspberry powders. *Measurement.* – 2021. – 186. 110014.
13. Przybyl, K.; Gavalek, J.; Kosela, K. Application of an artificial neural network for qualitative classification of spray-dried rhubarb juice powders. *J. Food Sci. Technol.* – 2020. – PP. 1–11.
14. Djordjevic, V.; Paraskevopoulou, A.; Mantsuridou, F.; Lalou, S.; Pantich, M.; Bugarsky, B.; Nedovich, V. Encapsulation technologies for the food industry. *Food Engl. Ser.* – 2016. – PP. 329-382.
15. Lemos, P.V.F.; Marcelino, H.R.; Cardoso, L.G.; de Souza, K.O.; Druzian, J.I. Starch chemical modifications applied to drug delivery systems: from basics to FDA-approved raw materials. *Int. J. Biol. Macromol.* – 2021. – 184. – PP. 218-234.
16. Levandovich, G.; Fornal, J.; Valkovsky, A. The effect of microwave radiation on the physicochemical properties and structure of potato and tapioca starches. *Carbohydr. Polym.* – 1997. – 34. – PP. 213-220.
17. Oyeinka, S.A.; Akintayo, O.A.; Adebo, O.A.; Kayitesi, E.; Njobe, P.B. Review of physico-chemical properties of starches modified only by microwave and in combination with other methods. *Int. J. Biol. Macromol.* – 2021. – 176. – PP. 87–95.
18. Lukasevich, M.; Bednarz, S.; Ptashek, A. Environmentally friendly modification of polysaccharide - microwave oxidation of starch. *Starch Stärke.* – 2011. – 63. – PP. 268-273.
19. Yang, K.; Qi, L.; Luo, Z.; Kong, H.; Xiao, Z.; Wang, P.; Peng, X. The effect of microwave irradiation on the internal molecular structure and physical properties of waxy corn starch. *Food Hydrocoll.* 2017, 69, 473-482.
20. Fan, D.; Ma, S.; Wang, L.; Zhao, J.; Zhang, H.; Chen, V. The effect of microwave heating on the optical and thermal properties of rice starch. *Starch Stärke.* – 2012. – 64. – PP. 740-744.
21. Chen, D.; Fang, F.; Federici, E.; Campanella, O.; Jones, O.G. Rheology, microstructure and phase behavior of potato starch-protein fibril mixed gel. *Carbohydr. Polym.* – 2020. – 239, 116247.
22. Jiang, J.; Gao, H.; Zeng, J.; Zhang, L.; Wang, F.; Su, T.; Li, G. Determination of the freezing temperature and retrogradation characteristics of potato starch gel. *LWT.* – 2021. – 149, 112037.
23. ГОСТ 15133.3 Концентраты пищевые. Методы определения органолептических показателей, готовности концентратов к употреблению и оценки дисперсности суспензии. – Введ. 01.01.1979. – Сб. ГОСТов. – М.: Стандартинформ, 2011.
24. ГОСТ Р 702.1.024-2021 Российская система качества. Завтраки сухие готовые. Потребительские испытания. – Введ. 10.01.2021. – М.: Российский институт стандартизации, 2021.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 614.84

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0015

ПРОБЛЕМЫ ПОДБОРА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ И ЭЛЕКТРОПРОВОДОК СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ

©2022

Стрельников Сергей Владимирович, научный сотрудник

Варламкин Андрей Александрович, кандидат технических наук, начальник сектора

Бочарников Михаил Александрович, научный сотрудник

Дармина Наталья Михайловна, младший научный сотрудник

*Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны
(143903, Россия, Москва, г. Балашиха, мкрн. ВНИИПО, д. 12,*

emails: mrserjo@mail.ru , a.varlamkin@yandex.ru , mab-82@yandex.ru, chendemeroval992@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрены требования по сохранению работоспособности к кабельным линиям и электропроводам систем противопожарной защиты, а также других систем, которые должны сохранять работоспособность в условиях пожара. На основе статистических данных оценена проблематика возникновения пожаров из-за электрооборудования, кабельных линий и электропроводок. Рассмотрены проблемы проектирования кабельных линий и электропроводок систем противопожарной защиты в зданиях и сооружениях, а также проблемы экономических, временных и трудовых затрат при проведении испытаний кабельных линий и электропроводок систем противопожарной защиты под каждый объект. Показана целесообразность разработки базы данных, а также программного обеспечения (приложения) для автоматизации выбора кабельной линии или электропровода по заданным параметрам для конкретного объекта защиты. Выбраны характеристики, по которым целесообразно проводить отбор в предлагаемой базе данных. Разработана концепция базы данных и программы выбора. Показан процесс отбора при использовании на условных вводных данных, по заданным параметрам конкретного объекта защиты. Оговорены нормативные ограничения применения подобной базы данных при выборе кабельных линий и электропроводок для систем противопожарной защиты. Определена наиболее релевантная возможность применения базы данных и программного обеспечения к ней.

Ключевые слова: пожар, кабель, электропроводка, электромонтажное погонажное изделие, кабеленесущие системы, время сохранения работоспособности.

PROBLEMS OF SELECTION OF CABLE LINES AND ELECTRICAL WIRING OF FIRE PROTECTION SYSTEMS OF OBJECTS

©2022

Strelnikov Sergey Vladimirovich, researcher

Varlamkin Andrey Aleksandrovich, candidate of technical sciences, head of sector

Bocharnikov Mikhail Alexandrovich, researcher

Darmina Natalia Mikhailovna, junior researcher

*Federal state budgetary institution "All-Russian Order of the Badge of Honor" Research Institute of fire protection
(143903, Russia, Moscow, Balashikha, d-t VNIPO 12,*

emails: mrserjo@mail.ru , a.varlamkin@yandex.ru , mab-82@yandex.ru, chendemeroval992@mail.ru)

Abstract. The requirements for maintaining operability for cable lines and electrical wiring of fire protection systems, as well as other systems that must remain operable in a fire, are considered. On the basis of statistical data, the problem of fires caused by electrical equipment, cable lines and wiring has been assessed. The problems of designing cable lines and electrical wiring for fire protection systems in buildings and structures, as well as the problems of economic, time and labor costs when testing cable lines and electrical wiring of fire protection systems for each object are considered. The expediency of developing a database, as well as software (applications) for automating the selection of a cable line or electrical wiring according to the specified parameters for a specific object of protection, is shown. The characteristics for which it is advisable to carry out the selection in the proposed database have been selected. The concept of the database and the selection program has been developed. The process of selection is shown when using conditional input data, according to the given parameters of a specific object of protection. Regulatory restrictions on the use of such a database when choosing cable lines and electrical wiring for fire protection systems have been discussed. The most relevant possibility of applying the database and software to it has been determined.

Keywords: fire, cable, electrical wiring, electrical mouldings, cable-carrying systems, maintenance time.

Введение. На протяжении долгого времени причиной большей части пожаров в Российской Федерации являются аварийные режимы работы электрооборудования.

Наиболее уязвимым элементом системы электропитания объекта защиты являются кабели и прово-

да, образующие кабельные линии и электропроводки различного назначения.

Причиной загорания кабельных линий и электропроводок могут быть токовые перегрузки, перенапряжения и короткие замыкания, являющиеся следствием допущенных ошибок при проектировании, монтаже, а

также при эксплуатации.

В следствие ужесточения требований к электроустановкам, количество пожаров из-за электрооборудования и процент этих пожаров удаётся постепенно снижать, согласно статистике [1-5]. Необходимо учесть, что особые требования предъявляются к кабельным линиям и электропроводкам систем противопожарной защиты, а также других систем, которые должны сохранять работоспособность в условиях пожара (далее – элСПЗ). Данные требования предъявляются в соответствии с ч. 2 ст. 82 Федерального закона [7]. Время сохранения работоспособности определяется по [8]. Каждая элСПЗ должна пройти испытания с учётом всех элементов крепления и монтажа. Даже самые, на первый взгляд, незначительные технические особенности элСПЗ оказывают значительное влияние на фактическое время сохранения работоспособности при проведении испытаний по [8]. Результат испытаний схожих элСПЗ может разительно отличаться.

Организации-застройщику или проектировщику, при выборе элСПЗ для объекта защиты, выполненных не по техническим условиям производителя и не имеющих сертификат соответствия, выданного системе добровольной сертификации, необходимо для каждого объекта проводить испытания с учетом вариативности способов прокладки и марок кабелей. При этом вариативность способов прокладки при выполнении анализа для проведения данных испытаний может насчитывать более 10 различий.

Сам процесс испытания проходит следующим образом:

Образец представляет собой кабельную линию в проектном исполнении, которую устанавливают в испытательной печи в соответствии с технической документацией. При использовании коробов, лотков или труб образец устанавливают в испытательную печь горизонтально таким образом, чтобы в испытательной печи находилось максимальное количество стыков и элементов вентиляционных систем (при их наличии) в соответствии с технической документацией. Места прохода образца через стены печи заделывают в соответствии с технической документацией.

При проведении испытаний кабельных коробов, предназначенных для сохранения работоспособности кабельной линии в условиях пожара, в каждом образце прокладывают кабели согласно проектной документации. Если данная документация отсутствует, то есть список кабелей, которые прокладываются специально в таких случаях.

Кабели крепят металлическими скобами или другим крепежом в соответствии с технической документацией.

Свободную площадь дна короба, лотка равномерно заполняют эквивалентной нагрузкой, имитирующей массу отсутствующих по сравнению с проектной документацией кабелей. Эквивалентную нагрузку прикладывают в виде металлических цепей или отрезков металлических прутков длиной не более 100 мм. Если в проектной документации отсутствуют сведе-

ния об эквивалентной нагрузке, то эквивалентную нагрузку определяют как разницу между проектной и фактической (при проведении испытаний) массами кабелей в кабельном коробе или лотке. Максимальная величина проектной нагрузки должна быть определена проектной документацией на кабельные короба и лотки. Эквивалентную нагрузку распределяют по дну равномерно.

К установленным образцам кабелей подключают испытательное оборудование в зависимости от их типа:

- кабели на номинальное напряжение до 0,6/1,0 кВ включительно;
- кабели электрические для передачи данных;
- кабели оптические.

Испытание проводят в течение времени, установленного в технической документации на данный образец.

Стоит отметить, что подготовка и проведение каждого испытания элСПЗ требует как временных так и значительных финансовых затрат.

Сократить экономические, временные и трудовые затраты могла бы единая база данных, содержащая перечень элСПЗ, прошедших испытания по [8], с учётом требуемых характеристик, но на данный момент времени какая-либо единая база отсутствует. Необходимо отметить, что производителями кабелей совместно с производителями кабеленесущих систем выпускаются альбомы технических решений, основанных на протоколах испытаний и сертификатах соответствия, существенно снижающих риск возникновения финансовых потерь со стороны застройщика.

Таким образом, **целью** данной статьи является предложение разработки базы данных с элСПЗ и программным обеспечением для выбора элСПЗ исходя из заданных параметров. Что, в свою очередь, должно сократить временные и ресурсные затраты при проектировании и строительстве.

Материалы и результаты исследования. Ключевой проблемой подбора кабельных линий и электропроводок путем разработки единой базы данных являются:

- расширенная номенклатура маркоразмеров кабельных изделий, которая включает в себя как конструктивные особенности тех или иных кабелей, так и большое количество производителей кабельно-проводниковой продукции на территории РФ [12];
- расширенная номенклатура кабеленесущих систем (КНС), которая включает в себя как конструктивные особенности тех или иных КНС, большое количество производителей КНС на территории РФ и организаций, реализующих импортные технические решения [13];
- расширенная номенклатура производителей огнестойких кабельных коробов и каналов для прокладки кабелей, которая включает в себя конструктивные и теплофизические особенности используемых материалов;
- способ прокладки;

- номинальное или рабочее напряжение, подаваемое на кабели в составе элСПЗ при испытании;
- время сохранения работоспособности кабельных линий и электропроводок в условиях воздействия пожара.

Все эти параметры можно записать в качестве полей для таблиц в базе данных с элСПЗ. А уже для поиска элСПЗ по приведенным выше характеристикам в этой базе потребуется разработка программного обеспечения с возможностью ее регулярного пополнения

новыми техническими решениями с обязательным внесением данных о лаборатории в которых было выполнено испытание.

Разработка данной базы данных и программного обеспечения для выбора элСПЗ позволит сократить временные и финансовые затраты на поиск оптимального решения при выборе проектного исполнения элСПЗ для объекта защиты.

Примерный пользовательский интерфейс базы данных представлен на рисунках 1 и 2.

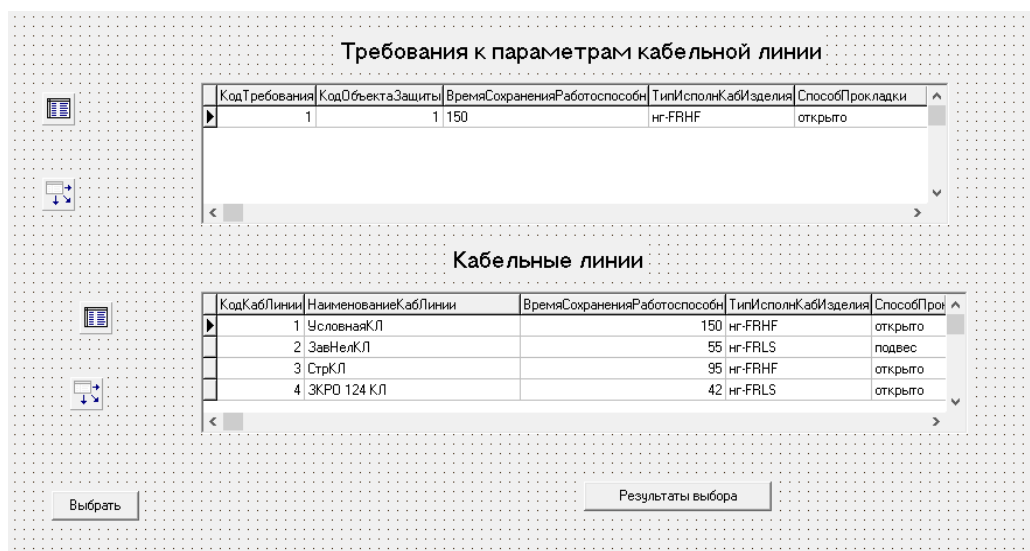


Рисунок 1 – Выбор элСПЗ по критериям (переменным)



Рисунок 2 – Предоставление данных о конструктивном исполнении элСПЗ, удовлетворяющих требования к объекту защиты

Необходимо принять к сведению, что с 01.01.2021 г на территории Российской Федерации прекращает действие [8], согласно [9], в связи с вступлением в силу [10].

Стандарт РФ [10] значительно расширен по отношению к отменяемому [8], в части:

- терминов и определений;
- требований к испытательной установке и оборудованию;
- размещению термоэлектрических преобразова-

телей у образца при испытаниях;

- конкретизированы требования к образцам для испытаний;
- при испытании огнестойких коробов должны использоваться кабели типов исполнения оболочки «нг» и «нг-LS», как содержащих в своей конструкции экраны, так и без них;
- конкретизирована оценка результатов испытаний по принципу (малый/средний/наибольший);
- впервые введено «Приложение Б», являющееся

адаптированным положением [11], направленным на определение времени достижения температур воспламенения пластика или полимерных композиций оболочек кабелей. Данное положение позволяет получать данные о температуре внутри коробов при испытании.

В целях данного исследования была проведена отборка нескольких кабельных линий по черновому образцу программы, содержащему в базе данных ограниченный набор компонентов, которые были взяты из проектов с довольно распространёнными условиями. Название и производитель компонентов были заменены условными названиями. Сам процесс подбора элСПЗ с использованием данного приложения занял в разы меньше времени относительно подбора из различных составляющих, общения с промежуточными организациями для согласования компонентов элСПЗ (которых на одном объекте может быть различное количество).

Таким образом, подобрать элСПЗ, добавить их в проект и провести испытания удалось при сокращении затрат времени на поиск и сопоставление элементов этих линий и средств на консультацию и подбору данных элементов сотрудниками сторонних организаций

Заключение. Предлагаемая база данных может быть использована исключительно в качестве информационной системы для выбора оптимального решения в части элСПЗ с подтверждением времени сохранения работоспособности в условиях пожара (определением фактического времени сохранения работоспособности) в соответствии с [8] до 01.01.2021 и [10] после 01.01.2021г. Однако, даже в этом качестве база данных с программным обеспечением для выбора элСПЗ позволит значительно сократить экономические, временные и трудовые затраты при процессе подбора элСПЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий
2. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий
3. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий
4. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий
5. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий
6. ГОСТ 31565-2012 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности»
7. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
8. ГОСТ Р 53316-2009 «Кабельные линии. Сохранение работоспособности в условиях пожара. Метод испытания»
9. Приказ Росстандарта от 21.09.2021 N 991-ст
10. ГОСТ Р 53316-2021 «Электропроводки. Сохранение работоспособности в условиях стандартного температурного режима пожара. Методы испытаний»
11. ASTM E1725-2014 «Standard Test Methods for Fire Tests of Fire-Resistive Barrier Systems for Electrical System Components»
12. <https://www.ruscable.ru/company/zavod/>
13. <https://cabletray.ru/news/3538/>

Статья поступила в редакцию 10.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0016

УПРАВЛЕНИЕ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ УТИЛИЗАЦИИ И УНИЧТОЖЕНИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

©2022

Авдонина Любовь Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»

Вершинин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»

Заонегин Антон Александрович, старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность»

*Пензенский государственный университет
(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40,*

e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru, antofre@gmail.com)

Аннотация. Рассматривается технологический процесс утилизации и уничтожения взрывоопасных изделий на потенциально опасном предприятии. Этот процесс должен быть максимально безопасным. Одним из направлений повышения безопасности является совершенствование системы управления охраной труда при выполнении данного технологического процесса. Рассматривается информационно-моделирующая среда прогнозирования риска возникновения аварийной ситуации на потенциально опасном объекте при проведении работ по уничтожению или утилизации взрывоопасных изделий разработанная на основе теории стохастических ветвящихся процессов. Оптимальное управление процессом работ по утилизации взрывоопасных изделий достигнуто на основе принципа максимума Понтрягина. Полученные результаты используются в качестве начального приближения в методе спуска в пространстве управлений, при минимизации функции риска. Разработана модель управления охраной труда в производственном процессе утилизации или уничтожении взрывоопасных изделий, обеспечивающего на нестационарном временном интервале, равном 1,4 часа $< t < 3,4$ часа (начало проведения работ) максимальную безопасность при минимизации функции риска. Данная модель является частью методического сопровождения управления безопасностью на потенциально опасном объекте.

Ключевые слова: охрана труда, изделие, безопасность, потенциально опасный объект, принцип максимума Понтрягина, метод спуска в пространстве управлений, аварийная ситуация, утилизация взрывоопасных изделий.

HEALTH MANAGEMENT DURING THE DISPOSAL AND DESTRUCTION OF EXPLOSIVE PRODUCTS

©2022

Avdonina Lyubov Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of technosphere safety,

Vershinin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the department of technosphere safety,

Zaonegin Anton Aleksandrovich, senior lecturer of the department of technosphere safety,

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40,

e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru, antofre@gmail.com)

Abstract. The technological process of disposal and destruction of explosive products at a potentially dangerous enterprise is considered. This process should be as safe as possible. One of the ways to improve safety is to improve the occupational safety management system when performing this technological process. The information modeling environment for predicting the risk of an emergency at a potentially dangerous facility during the destruction or disposal of explosive products is considered, developed on the basis of the theory of stochastic branching processes. Optimal management of the process of disposal of explosive products is achieved on the basis of the Pontryagin maximum principle. The results obtained are used as an initial approximation in the descent method in the control space, while minimizing the risk function. A model of occupational safety management in the production process of disposal or destruction of explosive products has been developed, ensuring

Keywords: labor protection, product, safety, potentially dangerous object, Pontryagin maximum principle, descent method in the control space, emergency situation, disposal of explosive products.

Введение. Рациональная организация охраны труда в системе «человек-производственный процесс» является краеугольным камнем, на котором базируются гарантии трудовых прав работающих, важнейшим направлением деятельности не только юридических лиц и индивидуальных предпринимателей,

но и органов власти всех уровней, включая местное самоуправление [1, 2, 21]. Современные тенденции к управлению трудовыми процессами в области охраны труда лишь укрепляют убежденность в необходимости правильной организации управления охраной труда при работе на потенциально опасных объектах

(ПОО), неотъемлемой частью которых являются предприятия химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также объекты военно-промышленного комплекса [3]. Крупнейшие аварии и катастрофы, произошедшие за более чем 20 лет нового тысячелетия в России и в ряде стран мира, свидетельствуют о важности научно-исследовательской работы в области теории безопасности, в которой важное место отводится охране и безопасности труда [4]. Непрерывный научно-технический прогресс, подталкивающий к усложнению производственных схем и осуществляющих их процессов, ставит вопросы охраны труда и безопасности ПОО на первый план и придает им самостоятельное значение [5]. Научное сообщество единогласно в своем мнении, что современные научные исследования, связанные с разработкой и внедрением в практику методов обеспечения безопасности функционирования ПОО за счет правильной организации охраны труда, являются как никогда актуальными.

Нормативная документация предписывает обязательное уничтожение и утилизацию взрывоопасных изделий по истечению назначенного срока. Структурирование процессов переработки и утилизации изделий данного класса однозначно относит их к категории особо опасных [22].

Нарушение технологического процесса вне зависимости от его характера и длительности многократ-

но повышает риски возникновения техногенных катастроф при проведении данного вида работ. В данной статье авторами представлены ряд методологических подходов к формированию информационно-моделирующей среды, являющейся составной частью методического сопровождения системы управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями, и преследующая своей целью снижение рисков возникновения техногенных катастроф [22].

Материалы и результаты исследования.

1. Логическая схема технологического процесса утилизации или уничтожения взрывоопасных изделий. Методология разработки информационно-моделирующей среды (ИМС) базируется на теории стохастических ветвящихся процессов [6], с помощью которых описывается логическая схема выполнения работ по уничтожению или утилизации взрывоопасных веществ.

На рисунке 1 показана логическая процесса подготовки взрывоопасных изделий и их утилизации, а на рисунке 2 представлена структурная схема вероятностных переходов.

На рисунках 1 и 2 $\mu_1(t)$, $\mu_2(t)$, $\mu_3(t)$ являются случайными величинами: $\mu_1(t)$ – объем взрывоопасных изделий, находящихся на хранении в момент времени t ; $\mu_2(t)$ – объем взрывоопасных изделий, подготовленных к утилизации; $\mu_3(t)$ – объем взрывоопасных изделий, утилизированных, уничтоженных.

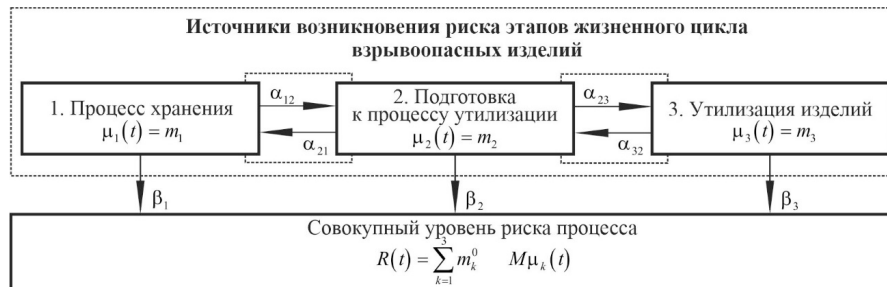


Рисунок 1 – Логическая процесса подготовки и утилизации взрывоопасных изделий

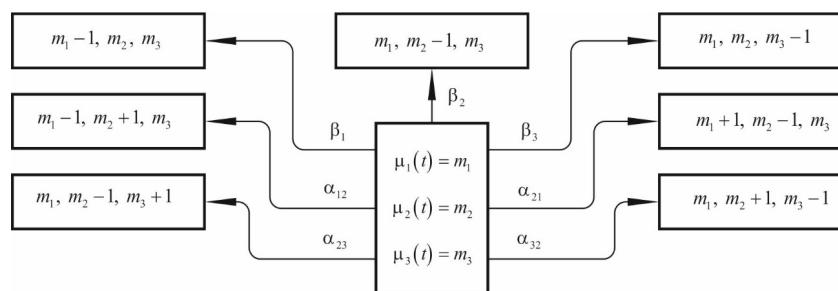


Рисунок 2 – Дерево вероятностных переходов

Разработка ИМС управления охраной труда и безопасностью процессов обращения с взрывоопасными изделиями с целью их переработки и утилизации направлена на поиск значений весовых коэффициентов α_{ij} и β_i , выраженных как функции времени такого процесса, при котором риск возникновения ЧС минимален [7, 22].

Краевые значения получены на основе работы с открытыми источниками, такими как паспорта изделий,

статистические данные об объекте и процессах, на которых обращаются взрывоопасные изделия (табл. 1). Полученные значения используются в качестве граничных условий ИМС системы управления. Весовые коэффициенты вероятностного дерева отражают: α_{ij} – среднее число взрывоопасных изделий, подготовленных к утилизации в единицу времени; β_i – среднее число ЧС в единицу времени при выполнении любого процесса на объекте [22].

Таблица 1 – Экстремумы значений α_{ij} и β_i

	α_{12}	α_{21}	α_{23}	α_{32}	β_1	β_2	β_3
max	0,01	0,001	0,01	0,002	0,0000009	0,000009	0,000001
..	0,010	0,010	0,050	0,008	0,00001	0,0001	0,0001

2. Модель информационно-моделирующей среды управления безопасностью процесса утилизации или уничтожения взрывоопасных изделий. Оптимизации ИМС управления безопасностью процессов утилизации или уничтожения взрывоопасных изделий проводится на основе принципа максимума Понтрягина и метода спуска в пространстве управлений [8]. В этом случае граничные условия принимают вид [9, 22]:

$$P(t_0) = \begin{cases} 1, & \text{при } m_1 = m_1^0, m_2 = m_2^0, m_3 = m_3^0, \\ 0, & \text{при } (m_1, m_2, m_3) \neq (m_1^0, m_2^0, m_3^0); \end{cases} \quad (1)$$

$$P(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } (m_1, m_2, m_3) = (0, 0, m_1^0 + m_2^0 + m_3^0), \\ 0, & \text{при } (m_1, m_2, m_3) \neq (0, 0, m_1^0 + m_2^0 + m_3^0); \end{cases} \quad (2)$$

Граничное условие (1) устанавливает начальное состояние системы, где m_1^0 – число изделий на хранении, m_2^0 – подготовлено к утилизации, m_3^0 – утилизировано. Граничное условие (2) определяет конечное состояние системы, при котором жизненный цикл взрывоопасного изделия завершен (за время $\tau = T - t_0$ все $m_1^0 + m_2^0 + m_3^0$ взрывоопасные изделия утилизированы или уничтожены).

Риск возникновения ЧС в данном случае представляет собой математическое ожидание числа взрывоопасных изделий, хранение, подготовка или утилизация создает опасную ситуацию:

$$R(t) = \sum_{k=1}^3 m_k^0 - M[\mu_k(t)], \quad (3)$$

где M – математическое ожидание количества взрывоопасных изделий.

На рисунках 3 и 4 приведены результаты оптимизации ИМС управления охраной труда при утилизации взрывоопасных изделий [10, 22].

На рисунке 3 показан результат оптимизации функции управления охраной труда $u(t) = (\alpha_{12}(t), \alpha_{21}(t), \alpha_{23}(t), \alpha_{32}(t), \beta_1(t), \beta_2(t), \beta_3(t))$, достигнутый за счет снижения среднего значения функции риска (3) в течение двух рабочих смен [11].

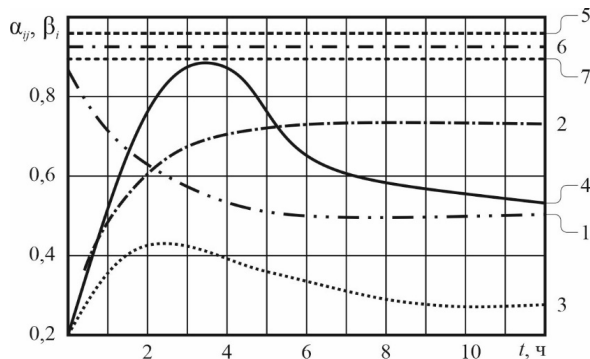


Рисунок 3 – Оптимизированный режим управления процессом утилизации взрывоопасных изделий:
1 – $\alpha_{12}(t) \cdot 10^{-1}$; 2 – $\alpha_{21}(t) \cdot 10^{-1}$; 3 – $\alpha_{23}(t) \cdot 10^{-1}$; 4 – $\alpha_{32}(t) \cdot 10^{-1}$;
5 – $\beta_1(t) \cdot 10^{-3}$; 6 – $\beta_2(t) \cdot 10^{-3}$; 7 – $\beta_3(t) \cdot 10^{-3}$
 $m_1^0 = 2500, m_2^0 = 0, m_3^0 = 0$

На рисунке 4 показан уровень безопасности процессов обращения с взрывоопасными изделиями, достигнутый в результате оптимизации функции управления $u(t)$, выполненном при условии $\bar{R}(t) = \min$ (3) за две рабочие смены персонала, занятого в процессах хранения, переработки или утилизации [11].

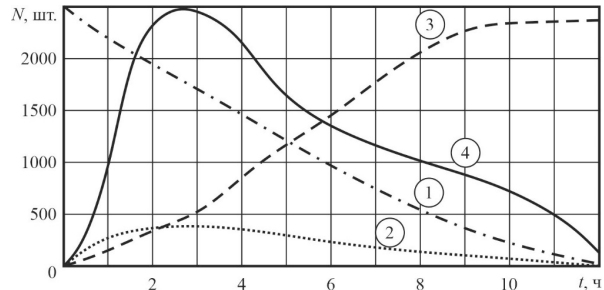


Рисунок 4 – Безопасность работ при утилизации взрывоопасных изделий:

1 – $M\mu_1(t)$; 2 – $M\mu_2(t)$; 3 – $M\mu_3(t)$; 4 – $R(t) \cdot 10^{-4}$.

3. Выводы по результатам моделирования. При $t < 3,9$ часа управление технологическим процессом нестационарное [12], а при $t > 3,9$ часа – стационарное. На временном интервале, равном 1,4 часа $< t < 3,4$ часа (рис. 3), наблюдается нестационарный режим управления технологическим процессом, во время которого значительно возрастает риск возникновения ЧС при проведении работ – кривая 4 [13]. На рисунке 4 показано, что функция риска $R(t)$ достигает наибольшего значения $R_{max}(t) = 0,251$ при $t = 2,45$ часа, при этом все вероятности [22]:

$$P\{\mu_1(t) + \mu_2(t) + \mu_3(t) \neq 2500 | \mu_1(0) = 2500, \mu_2(0) = 0, \mu_3(0) = 0\} < 10^{-3}$$

Результаты управления безопасностью при выполнении работ с взрывоопасными изделиями $u(t)$, достигнутые при применении принципа максимума Понтрягина, могут быть использованы в качестве начального приближения в методе спуска в пространстве управлений, при минимизации функции риска (3) [14, 22].

Вычислительный процесс сходится при увеличении числа итераций ($R(2,45) = 0,137$, $M\mu_1(12) = 53,25$, $M\mu_2(12) = 31,37$, $M\mu_3(12) = 2348$). Максимальный $R_{max} = 0,137$, при использовании принципа Понтрягина – $R_{max} = 0,251$.

Таблица 2 – Сходимость результатов расчетов в методе спуска

№ итерации	1	2	3	4	5	6	7	8
R(2,45)	0,134	0,123	0,115	0,126	0,134	0,136	0,137	0,137
M μ_1	55,13	54,49	53,85	53,48	53,32	53,28	53,26	53,25
M μ_2	37,51	33,87	32,44	31,83	31,41	31,41	31,38	31,37
M μ_3	2490	2410	2383	2363	2355	2351	2349	2348

Снижение риска в методе спуска в пространстве управлений обусловлено минимизацией функции риска, но этот метод имеет и недостаток [15, 22].

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что утилизация взрывоопасных изделий не будет завершена в течение двух рабочих смен [16, 22]. Это связано особенностями метода спуска в пространстве управлений, при котором краевое условие (2) не выполняется [17, 22].

Очевидно, что управление нестационарным процессом утилизации взрывоопасных изделий значительно усложняет задачу снижения рисков процесса и требует увеличения расходов. Целесообразность затрат определяется снижением аварийности при стационарном управлении:

$$\alpha_{12}^0 = \alpha_{12}(12), \alpha_{21}^0 = \alpha_{21}(21), \alpha_{23}^0 = \alpha_{23}(12), \\ \beta_1^0 = \beta_1(12), \beta_2^0 = \beta_2(12), \beta_3^0 = \beta_3(12).$$

максимальный риск равен $R_{max} = 0,739$ (при управлении на основе принципа Понтрягина $R_{max} = 0,251$) [14, 22].

Заключение. Таким образом, на основе теории стохастических ветвящихся процессов [12] разработана модель управления охраной труда в производственном процессе потенциально опасного объекта [18,19] по утилизации или уничтожению взрывоопасных изделий, обеспечивающего на нестационарном временном интервале, равном 1,4 часа $< t < 3,4$ часа (начало проведения работ) [20] максимальную безопасность при минимизации функции риска. Данная модель является частью методического сопровождения управления охраной труда для обеспечения безопасности на потенциально опасных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Соколов М.Б. Руководство по охране труда. Мытищи: УПЦ «Талант», 2002. Часть 1. С. 224.
- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ. Редакция от 22.11.2021 (с последними изменениями).
- Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.
- Давыдов В.Г. Система управления охраной труда на машиностроительном предприятии/ Давыдов В.Г., Кузьмин А.П. М.: Машиностроение, 1989. 160 с.
- Вершинин Н.Н. Проблемы техногенной безопасности. // Сборник трудов Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: Издательство Пензенского ГУ, 2003. С. 30-32.
- Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. М.: ФИД Деловой экспресс, 1998. 218 с.
- Оленин Ю.А. Проблемы комплексного обеспечения охранно-территориальной безопасности и физической защиты особо важных объектов Российской Федерации // Проблемы объектовой охраны: сборник научных трудов. Вып. I. Пенза: Издательство Пензенского ГУ. 2000. С. 8-50.
- Котляревский В.А., Кочетков К.Е., Носач А.А. Аварии и катастрофы: предупреждение и ликвидация последствий. М.: Издательство «Ассоциация строительных ВУЗов», 1995. 320 с.
- Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. М.: ИЦ «Академия», 2003. 512 с.
- Радаев Н.Н. Структура управления безопасностью потенциально опасных объектов // Известия вузов. Ядерная энергетика. 1998. № 2. С. 23-26.
- Вершинин Н.Н., Волчихин В.И., Тихомиров А.В. Управление сложными производственными и технологическими системами: монография. Пенза: Издательство Пензенского ГУ, 2004. 244 с.
- Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. М.: Наука, 1971. 367 с.
- Вершинин Н.Н. Анализ возможности повышения безопасности технических систем через управление риском // Вестник Костромского ГУ. Серия «Технические и естественные науки. Системный анализ. Теория и практика». Кострома: Издательство Костромского ГУ им. Н.А. Некрасова. № 2. 2006. С. 96-103.
- Северцев Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: Учебное пособие / Н.А. Северцев, В.К. Дедков. М.: Высшая школа. 2006. С. 462.
- Волчихин В.И. Управление сложными производственными и технологическими системами. Монография / В.И. Волчихин, Н.Н. Вершинин, А.В. Тихомиров. Пенза: Издательство Пензенского ГУ, 2004. 244 с.
- Авдонина Л.А. Концепция построения информационного обеспечения системы поддержки принятия решений / Авдонина Л.А., Вершинин Н.Н., Смогунов В.В. // Сборник трудов международного симпозиума «Надежность и качество - 2010». Том 1. Пенза: Издательство Пензенского ГУ. 2010. С.212-213.
- Пожаров А.И. Показатели и критерии военно-экономической безопасности // Военная мысль. № 6. 2000. С. 26 - 34.
- Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учебник для бакалавров. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт. 2012. 572 с.
- Авдонина Л.А. Оценка степени достижения целей при разработке управленческих решений / Авдонина Л.А., Вершинин Н.Н., Смогунов В.В. // Сборник трудов международного симпозиума «Надежность и качество - 2010». Том 1. Пенза: Издательство Пензенского ГУ. 2010. С.10-11.
- Вершинин Н.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. // Сборник трудов международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: ИИЦ ПТУ. 2003. С. 412-414.
- Безопасность труда в химической промышленности: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся в области химической технологии и биотехнологии / Л.К. Маринина, А.Я. Васин, Н.И. Торопов [и др.]. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 528 с.
- Плющ А.А. Управление безопасностью при проведении работ по уничтожению и утилизации боеприпасов. // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 9-10. С. 31-34.

Статья поступила в редакцию 04.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 699.865:697.1:697.112

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0017

**О МЕТОДИКЕ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ОБЪЕМА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ
ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ СВЯЗАННЫХ С НАРУШЕНИЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

© 2022

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор,
начальник научно-исследовательского центра

Геккель Иван Яковлевич, адъюнкт научно-исследовательского центра

Кодзоев Абдул-Азит Исламович, заместитель начальника факультета

Поляков Александр Юрьевич, заместитель начальника управления, начальник отдела радиационной, химической, биологической, инженерной, медицинской защиты и первоочередного жизнеобеспечения управления гражданской обороны и защиты населения Главного управления МЧС России по Калининградской области

Академия гражданской защиты МЧС России

(Россия, 141435, Московская область, г.о. Химки, мкрн. Новогорск,

e-mails: anatoll_rubakov@mail.ru, i.gekkel@amchs.ru, a-a.kodzoev@amchs.ru, myasorubka_87@mail.ru)

Аннотация. В статье предложена методика обоснования рационального объема инженерно-технических мероприятий по повышению защищенности населения в здании при чрезвычайных ситуациях, связанных с нарушением теплоснабжения. Методика заключается в выборе такого перечня и объема мероприятий, которые при их проведении увеличат защищенность населения в здании за счет повышения времени его остывания с учетом ограничений на ресурсы. На основе проведенного эксперимента предложен алгоритм нахождения параметров модели обоснования объема мероприятий в виде математической модели, характеризующей вклад и значимость каждого параметра в повышение уровня защищенности населения в жилом здании. Предложен алгоритм решения оптимизационной задачи, который при помощи метода проекции градиента позволяет обосновать рациональный объем мероприятий в условиях ограниченных ресурсов на их проведение. Сделаны выводы о возможности применения разработанной методики и необходимости разработки рекомендаций для органов управления и сил РСЧС по применению методических рекомендаций с целью повышения защищенности населения в здании при чрезвычайной ситуации, связанной с нарушением теплоснабжения.

Ключевые слова: теплопотери, математическая модель, защищенность, теплоснабжение, тепловая защита здания, показатель защищенности, многофакторная модель, регрессионная модель.

**ON THE METHOD FOR DETERMINING THE RATIONAL VOLUME OF MEASURES TO PROTECT
THE POPULATION IN BUILDINGS IN EMERGENCY SITUATIONS ASSOCIATED
WITH THE BREAKDOWN OF THE HEAT SUPPLY**

© 2022

Rybakov Anatoly Valerievich, doctor of technical sciences, professor, head of the research center

Gekkel Ivan Yakovlevich, adjunct of the research center

Kodzoev Abdul-Azit Islamovich, deputy head of the faculty

Polyakov Alexander Yuryevich, deputy head of department - head of the department of radiation, chemical, biological, engineering, medical protection and priority life support of the department of civil defense and population protection main directorate of the Ministry of emergency situations of Russia for the Kaliningrad region

Civil Defens Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia

(Russia, 141435, Moscow region, Khimki, Novogorsk,

e-mails: anatoll_rubakov@mail.ru, i.gekkel@amchs.ru, aa.kodzoev@amchs.ru, myasorubka_87@mail.ru)

Abstract. The article proposes a method for determining the rational scope of engineering and technical measures to improve the security of the population in a building in emergency situations associated with a violation of heat supply. The methodology consists in choosing such a list and scope of activities that, when carried out, will increase the security of the population in the building by increasing its cooling time, taking into account resource constraints. The introduction contains a general structural and functional scheme of the developed scientific and methodological apparatus. An algorithm for finding the parameters of the model for determining the scope of measures is proposed in the form of a mathematical model that describes the contribution and significance of each parameter to increasing the level of protection of the population in a residential building. An algorithm for solving the optimization problem is proposed, which, using the gradient projection method, makes it possible to determine the rational scope of measures under conditions of limited resources for their implementation. Conclusions are drawn about the possibility of applying the developed methodology and the need to develop recommendations for the authorities and forces of the RSChS on the application of methodological recommendations in order to increase the security of the population in the building in an emergency situation associated with a violation of heat supply.

Keywords: heat loss, mathematical model, security, heat supply, thermal protection of the building, security index, multifactorial model, regression model.

Введение. В настоящее время в Российской Федерации большинство зданий строится с приемлемым уровнем защищенности населения от чрезвычайных ситуаций, связанных с нарушением теплоснабжения (далее – ЧС) [4]. Здания существующего жилого фонда в основном обладают низким уровнем тепловой защиты, в связи с чем возникает проблемная ситуация, которая заключается в низком уровне защищенности населения в жилом здании при ЧС [10].

В связи с большим многообразием инженерно-технических мероприятий, широкий диапазон стоимости их выполнения, выбор перечня и объемов мероприятий по повышению защищенности населения в жилых зданиях становится непростой задачей. Существует потребность в научно-методическом обеспечении таких мероприятий, при этом существующий научно-методический аппарат не в полной мере

способен осуществить такое обеспечение. Требуется дополнительная работа, основанная на проведении экспериментов, решении оптимизационной задачи [7]. При этом при обосновании объема и перечня инженерно-технических мероприятий возникают частные задачи, связанные с особенностями зданий, условиями эксплуатации, климатическими характеристиками и т.д. [5].

Для решения сформулированной задачи из [3] возникла необходимость в исследовании влияния параметров здания на повышение защищенности населения и разработки методики определения объема мероприятий по повышению защищенности населения в здании при ЧС.

Общая структурно-функциональная схема разработанного научно-методического аппарата методики показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема научно-методического аппарата методики определения рациональных объемов мероприятий защиты населения в зданиях при чрезвычайных ситуациях, связанных с нарушением теплоснабжения

Целью работы является разработка методики обоснования рациональных объемов мероприятий защиты населения в зданиях при чрезвычайных ситуациях, связанных с нарушением теплоснабжения, на основе математического моделирования и экспериментальных данных определения влияния параметров на степень защищенности населения. Применение данной методики позволит обеспечить приемлемый уровень защиты населения в здании при возникновении ЧС.

Материалы и результаты исследования. Алгоритм определения параметров системы защиты населения в жилом здании основан на применении методов корреляционного анализа [2], комбинаторики, а также информационно-технических методов (объектно-ориентированного программирования, синтаксического анализа Web-страниц, проектирования и работы с базами данных и др.) [1]. В результате работы алгоритма наборы данных по жилым зданиям и погодным условиям проходят процедуру обработки, выделяются наиболее значимые параметры для конкретного типа зданий в конкретном регионе, влияющие на коэффициент тепловой аккумуляции [9], исходные данные преобразуются в машиночитаемую таблицу, пригодную для проведения численного эксперимента.

Планирование эксперимента и его проведение позволяет выбрать из перечня исходных данных наиболее значимые параметры [12]. Натурные исследования теплоаккумулирующей способности жилого

здания проводят в реальных климатических условиях эксплуатации [13], далее производится обработка результатов натурных измерений с отсечением отдельных значений параметров, а теплотери здания определяются по формулам [5], полученным эмпирическим путем. После определения теплотери здания, вычисляют коэффициент тепловой аккумуляции β . По полученным параметрам тепловой защиты зданий судят о качестве теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций и далее о защитных качествах здания в целом.

При проведении исследования, направленного на выявление зависимости между коэффициентом тепловой аккумуляции в жилом здании и параметрами конструктивных элементов, область факторного пространства конкретизируется и характеризуется в начальном состоянии объекта исследования факторами (X_1, X_2, \dots, X_n) .

Выбор параметров обусловлен их влиянием на коэффициент тепловой аккумуляции, при этом каждый параметр варьируется в пределах ограничений по существующим нормам.

Толщина слоя дополнительной теплоизоляции ограждающих конструкций δ_i с заданными теплотехническими и теплофизическими свойствами и существующим конструктивным решением характеризует величину термического сопротивления, на которую повышается сопротивление теплопередаче существу-

ющего ограждения [14]. На нее накладывається ограничение существующими строительными нормами. Теплоемкость c_i и плотность ρ_i ограждения изменяется в зависимости от выбранных материалов конструкций. Площадь ограждения F_i зависит от геометрических размеров здания. Она является постоянной величиной при анализе параметров системы защиты. Теплопроводность ограждения λ_i изменяется в зависимости от типа материала конструкции. Термическое сопротивление оконных и балконных заполнений R_i дает представление об уровне теплозащитных качеств светопрозрачных конструкций. Кратностью воздухообмена в жилом помещении L оказывает влияние на коэффициент тепловой аккумуляции за счет сокращения теплопотерь при воздухообмене.

При проведении вычислений использовались зависимости, приведенные в СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003» [15], СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [16] и СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» [17].

Эксперимент проводится с изменением параметров на трех уровнях. Значения коэффициента тепловой аккумуляции получается при проведении натурного эксперимента. Далее по плану проведения эксперимента выполняются расчеты выбранных от-

кликов [13]. При выборе плана вычислительного эксперимента учитывалась необходимость получения адекватного математического описания рассматриваемой зависимости и по возможности сокращение числа вычислений.

Для описания поверхности отклика $Y=f(X_1, \dots, X_n)$ проводится многофакторный вычислительный эксперимент по плану второго порядка. При этом используется план *Box-Behnken design*, показавший достаточно высокую эффективность по основным статистическим критериям. Эксперимент проводится в программной среде «STATISTICA Advanced» [18], рассчитываются коэффициенты регрессионного уравнения и значимость коэффициентов модели. План эксперимента сводится в таблицу.

Для описания искомой зависимости строится модель в виде полинома [19]:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_i \quad (1)$$

После оценки значимости параметров, незначимые параметры исключаются из модели.

На основе анализа полученного уравнения регрессии интерпретируется влияние выбранных факторов на коэффициент аккумуляции рассматриваемого здания. Наглядно вклад каждого фактора в изменение коэффициента тепловой аккумуляции β для зданий типа 111-90 представлен в графическом виде на рисунке 2.

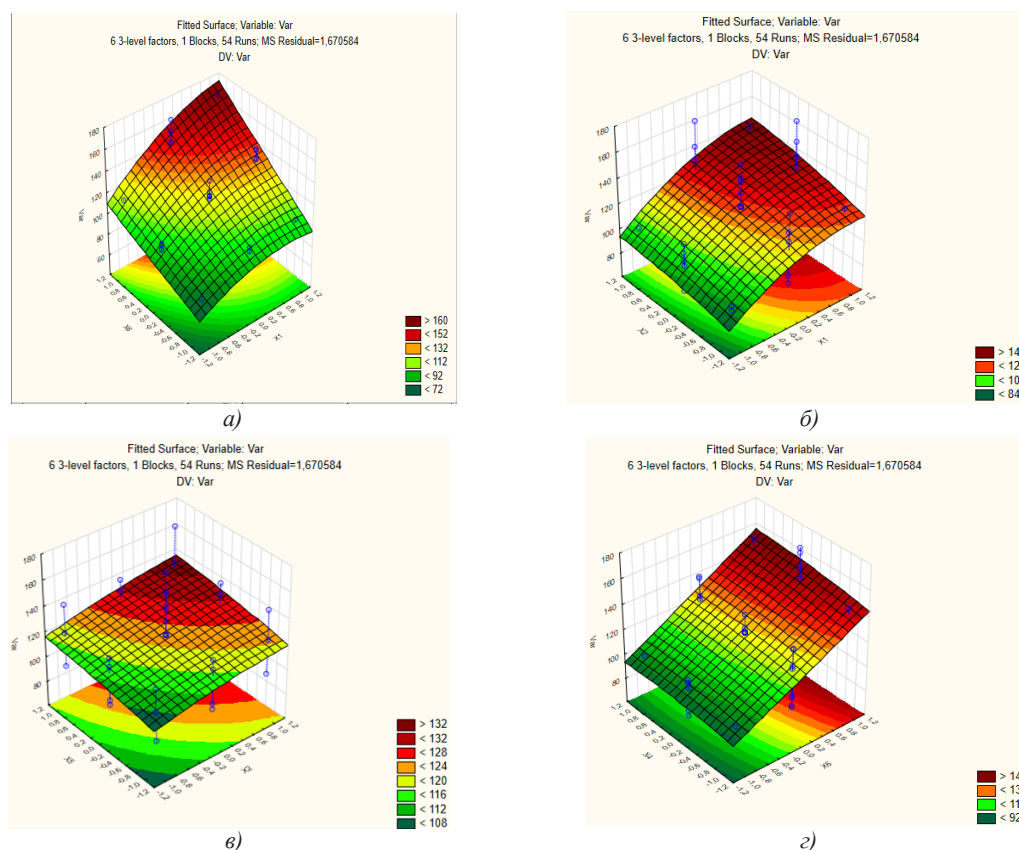


Рисунок 2 – Коэффициент тепловой аккумуляции рассматриваемого здания в зависимости от:

- а) толщины дополнительного теплоизоляционного слоя наружной стены и кратности воздухообмена;
- б) толщины дополнительного теплоизоляционного слоя наружной стены и сопротивления теплопередаче вновь устанавливаемых оконных заполнений;
- в) сопротивления теплопередаче вновь устанавливаемых оконных и балконных заполнений;
- г) толщины слоя дополнительной теплоизоляции цокольного перекрытия и кратности воздухообмена.

Из графиков (рис. 2) видно, что проведение инженерно-технических мероприятий, направленных на повышение защищенности населения в зданиях при ЧС, позволяет достичь «нормального» уровня защиты рассматриваемого здания при проведении данных мероприятий в комплексе.

Также видны отличия в форме изолиний на различных графиках, что позволяет говорить о разнице в силе влияния этих факторов на коэффициент аккумуляции и об их вкладе в структуру теплотерь при отключении теплоснабжения [20].

Определение объема мероприятий по изменению выбранных параметров конструктивных жилком здания можно получить на основе решения задачи оптимизации [2]. При этом рассматривается параметрическое множество, где начальное состояние объекта исследования, многоквартирного жилого дома, описывается вектором состояния [21]:

$$X_i = (\delta_p, c_p, \rho_p, F_p, \lambda_p, G_p, R_p)^T \quad (2)$$

```

> # objective function
> beta <- function(x) {
+   ( a0 + a1*x[1] + a3*x[3] + a4*x[4] ) / ( b0 + (b1/x[1]) + (b2/x[2]) + (b3/x[3]) + (b4/x[4]) + (b5/x[5]) )
+ }
>
> # lower and upper bounds
> lb <- c(0, 0.32, 0, 0, 0.18)
> ub <- c(0.2, 0.95, 0.2, 0.1, 0.54)
>
> # inequality constraints
> constr <- function(x) {
+   constr <- -5 + c1*x[1] + c2*x[2] + c3*x[3] + c4*x[4] + c5*x[5]
+   return(constr)
+ }
>
> # initial values
> x0 <- c(0.05, 0.4, 0.05, 0.05, 0.5)
>
> # define options
> opts <- list(
+   "algorithm" = "NLOPT_GN_ISRES",
+   "xtol_rel" = 1.0e-15,
+   "maxeval" = 1000000, # iterations
+   "tol_constraints_ineq" = 1.0e-10
+ )
>
> # perform the optimization
> res <- nloptr(
+   x0 = x0,
+   eval_f = function(x) -beta(x),
+   lb = lb,
+   ub = ub,
+   eval_g_ineq = constr,
+   opts = opts
+ )
>
> #res
>
> sol <- res[['solution']]
>
> paste0('нижний порог переменных: ', 'x1 >= ', lb[1], '; x2 >= ', lb[2], '; x3 >= ', lb[3], '; x4 >= ', lb[4], '; x5 >= ',
b[5])
[1] "нижний порог переменных: x1 >= 0; x2 >= 0.32; x3 >= 0; x4 >= 0; x5 >= 0.18"
> paste0('Верхний порог переменных: ', 'x1 <= ', ub[1], '; x2 <= ', ub[2], '; x3 <= ', ub[3], '; x4 <= ', ub[4], '; x5 <= ',
b[5])
[1] "Верхний порог переменных: x1 <= 0.2; x2 <= 0.95; x3 <= 0.2; x4 <= 0.1; x5 <= 0.54"
> paste0('оптимальное решение: ', 'x1 = ', sol[1], '; x2 = ', sol[2], '; x3 = ', sol[3], '; x4 = ', sol[4], '; x5 = ',
sol[5])
[1] "оптимальное решение: x1 = 0.1999999999999998; x2 = 0.9499999999999992; x3 = 0.2; x4 = 0.0999999999999996; x5 = 0.5399999999999998"
> paste0('коэффициент тепловой аккумуляции: ', beta(sol))
[1] "коэффициент тепловой аккумуляции: 42.4729036242485"
> paste0('Затраченный ресурс: ', c1*sol[1] + c2*sol[2] + c3*sol[3] + c4*sol[4] + c5*sol[5])
[1] "Затраченный ресурс: 3449310.999999982"
>

```

Рисунок 3 – Код программы для расчета значений целевой функции

Заключение. Таким образом, на основе теоретических, экспериментальных данных и математического моделирования разработана и предложена методика определения объема мероприятий по повышению защищенности населения в здании при чрезвычайной ситуации, связанной с нарушением теплоснабжения, которая позволяет решить следующие задачи:

Вводится целевая функция, то есть максимизируется показатель защищенности населения в здании:

$$W(X, \tau) = u(\tau) = Z \rightarrow \max \quad (3)$$

На параметры состояния накладываются линейные ограничения, поскольку физические параметры имеют границы [8]:

$$Ax \leq b; x \geq 0 \quad (4)$$

$$\begin{cases} A_1 \leq \delta \leq A_2 \\ B_1 \leq c \leq B_2 \\ C_1 \leq \rho \leq C_2 \\ D_1 \leq F \leq D_2 \\ E_1 \leq \lambda \leq E_2 \\ H_1 \leq G \leq H_2 \\ I_1 \leq R \leq I_2 \end{cases}$$

В итоге получается задача оптимизации функции многих переменных с линейными ограничениями, которая решается методом проекции градиента [11].

Для вычисления значений функции разработана программа на языке R, фрагмент кода представлен на рисунке 3 [6].

1. Управлять мероприятиями, влияющими на показатель защищенности населения в здании, при ограниченных ресурсах на их реализацию.

2. Определить искомый объем каждого мероприятия по повышению защищенности населения в здании при чрезвычайной ситуации, связанной с нарушением теплоснабжения, при проведении реконструкции и

модернизации здания на основе решения оптимизационной задачи.

3. Подготовить рекомендации для органов управления и сил РСЧС по повышению защищенности населения в здании при чрезвычайной ситуации, связанной с нарушением теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алексеевич Г.А., Григорьевич К.Р. Статистическая оценка некоторых факторов надежности и безопасности систем централизованного теплоснабжения // Academia. Архитектура и строительство. 2012. № 3. С. 111–114.

2. Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации / И.В. Бейко, Б.Н. Бублик, П.Н. Зинько, Киев: Вища шк. 1983. 511 с.

3. Геккель И.Я. [и др.]. Общая Постановка Задачи Обоснования Рациональных Параметров Системы Защищенности Населения В Жилом Здании От Неблагоприятных Факторов Чрезвычайных Ситуаций, Связанных С Отключением Теплоснабжения // Научные И Образовательные Проблемы Гражданской Защиты. 2020. № 3 (46).

4. Геккель И.Я. О влиянии конструктивных характеристик жилых зданий на обеспечение защиты населения при чрезвычайных ситуациях, связанных с нарушением теплоснабжения // Проблемы Техносферной Безопасности: Материалы Международной Научно-Практической Конференции Молодых Ученых И Специалистов. 2019. № 8.

5. Езерский В.А., Монастырев П.В., Клычников Р.Ю. Техно-экономическая оценка термомодернизации жилых зданий / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников, Изд-во Ассоц. строительных вузов.

6. Золотарюк А.В. Язык и среда программирования R / А. В. Золотарюк, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М».

7. Козлов В.В. Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 10–13.

8. Рыбаков А.В. [и др.]. О Подходе К Определению Показателя Защищенности Зданий И Сооружений Опасного Производственного Объекта // Научные И Образовательные Проблемы Гражданской Защиты. 2017. № 2 (33).

9. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов, МЭИ.

10. Стенников В.А., Славин Г.Б. Энергетическая Безопасность В Теплоснабжении России // Энергетическая Политика. 2009. № 6.

11. Черняев Ю.А. Обобщение метода проекции градиента и метода Ньютона на экстремальные задачи с ограничением в виде гладкой поверхности // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2015. № 9 (55). С. 1493–1502.

12. Горелов М.В., Гужов С.В., Горячева Е.М., Юркина М.Ю. Экспериментальное определение времени остывания здания при аварийном отключении системы теплоснабжения // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 4. С. 11–15.

13. Дисперсионный анализ экспериментальных данных — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов. [Электронный ресурс]. URL: <https://urait.ru/book/dispersionnyu-analiz-eksperimentalnyh-dannyh-495700> (дата обращения: 03.02.2022).

14. Будадин О.Н., Абрамова Е.В., Сучков В.И. Методика диагностики и энергетических обследований наружных ограждающих конструкций строительных сооружений тепловизионным бесконтактным методом. М.: Технологический институт энергетических обследований, диагностики и разрушающего контроля «ВЕМО», 2001. 43с.

15. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 (с Поправкой) от 30 декабря 2020 - docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256?marker=7D20K3> (дата обращения: 03.02.2022).

16. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1) от 30 июня 2012 - docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения:

04.02.2022).

17. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий от 26 марта 2004 - docs.cntd.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037434> (дата обращения: 07.02.2022).

18. STATISTICA Advanced [Электронный ресурс]. URL: http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Advanced/ (дата обращения: 03.02.2022).

19. Теория вероятностей и математическая статистика — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов. [Электронный ресурс]. URL: <https://urait.ru/book/teoriya-veroyatnostey-i-matematicheskaya-statistika-456395> (дата обращения: 03.02.2022).

20. Методы оптимизации. Практический курс: учебное пособие с мультимедиа сопровождением / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – М.: Логос, 2011. – 424 с: ил.

21. Воскобоев В. Ф. Модели организаций жизнеобеспечения населения // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. № 4 (35). С. 73-77.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 622.86

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0018

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ПРОХОДЧИКА УЧАСТКА БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

© 2021

Муллер Нина Васильевна, кандидат технических наук, доцент
кафедры «Кадастры и техносферная безопасность»

Младова Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент
кафедры «Кадастры и техносферная безопасность»

Комсомольский-на-Амуре государственный университет

(681013, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина, 27, e-mail: office@knastu.ru)

Аннотация. В данной работе рассмотрены результаты анализа условий труда проходчика участка буровзрывных работ горнодобывающей компании. Для выявления вредных и опасных факторов необходимо было ознакомиться с особенностями технологического процесса и применяемого оборудования, с результатами измерений фактических условий труда и нормативными показателями производственной среды. Были установлены классы и подклассы условий труда для исследуемой группы работников по действующим факторам на рабочих местах – аэрозолям преимущественно фиброгенного действия (АПФД), шуму, вибрации общей, вибрации локальной, микроклимату, световой среде, тяжести и напряженности труда. Выявлены приоритетные факторы, оказывающие прямое воздействие на уровень здоровья проходчика. Проведен анализ профессионального риска и ущерба здоровью на основании комплексной оценки условий труда и выявлены профессиональные заболевания на основе обработки статистических данных. На сегодняшний момент для выполнения требований новых правил по охране труда, работодатель не только должен провести оценку профессиональных рисков, но и принять конкретные действия по применению ее результатов. Рассмотрены штатные и аварийные ситуации на исследуемом рабочем месте и приведены наименования опасностей в соответствии с классификатором рисков с целью их идентификации и недопущения реализации при своевременном применении превентивных мероприятий.

Ключевые слова: профессиональный риск, анализ условий труда, профессиональные заболевания, идентификация опасностей, проходчик, горная промышленность.

**ASSESSMENT OF THE PROFESSIONAL RISK OF THE SINKER
OF THE DRILLING AND BLASTING SITE**

© 2021

Muller Nina Vasilevna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department «Cadastres and Technosphere Safety»

Mladova Tatiana Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department «Cadastres and Technosphere Safety»

Komsomolsk-on-Amur State University

(681013, Russia, Khabarovsk Krai, Komsomolsk-on-Amur, Lenin Avenue, 27, e-mail: office@knastu.ru)

Abstract. In this paper, the results of the analysis of the working conditions of the sinker of the drilling and blasting site of a mining company are considered. In order to identify harmful and dangerous factors, it was necessary to get acquainted with the features of the technological process and the equipment used, with the measurement results of actual working conditions and regulatory indicators of the production environment. Classes and subclasses of working conditions were established for the studied group of workers according to the factors at work – aerosols of predominantly action (APFD), noise, general vibration, local vibration, microclimate, light environment, severity and intensity of labor. Priority factors that have a direct impact on the level of health of the tunneller have been The analysis of occupational risk and health damage was carried out on the basis of a comprehensive assessment of working conditions and occupational diseases were on the basis of statistical data processing. At the moment, in order to meet the requirements of the new labor protection regulations, the employer must not only conduct an assessment of occupational risks, but also take concrete actions to apply its results. The regular and emergency situations at the workplace under study are considered and the names of hazards are given in accordance with the risk in order to identify them and prevent their implementation with the timely application of preventive measures.

Keywords: occupational risk, analysis of working conditions, occupational diseases, of hazards, sinker, mining industry.

Введение. Производственный персонал при трудовой деятельности подвергается воздействию вредных и опасных факторов. Согласно Трудовому кодексу РФ руководитель предприятия должен оградить работников от негативного воздействия, возникающего в процессе технологического производства, которое зачастую приводит к травматизму и профессиональным

заболеваниям, экономическим потерям [1]. Однако, при наличии соответствующих мер контроля и управления рисками опасные и вредные факторы не будут создавать угрозу для здоровья и жизни работников.

Под индивидуальными профессиональными рисками подразумевается количественная оценка неблагоприятных исходов с ущербом для здоровья при

воздействии на работников вредных и опасных производственных факторов.

В связи с вступающими в силу с 01 марта 2022 года изменениями Трудового кодекса РФ согласно ст. 214 и ст. 218 работодатель обязан обеспечить:

- систематическое выявление, анализ и оценку опасностей и профессиональных рисков на регулярной основе с разработкой мер по улучшению условий труда;
- идентификацию профессиональных рисков на новых рабочих местах и при смене технологических процессов, оборудования и материалов.

Целью работы является оценка рисков возникновения профзаболеваний, при этом необходимо эффективно их идентифицировать с установлением причинно-следственных связей с опасными и вредными производственными факторами, действующими на рабочем месте.

Материалы и результаты исследований. В качестве примера была выбрана профессия проходчика. Условия труда при буровзрывных работах в горнодобывающих компаниях определяются спецификой используемых технологий и оборудования. Работа в шахтах реализуется с применением различных горных машин, управляемых людьми и с применением ручного труда. Технологический процесс основан на извлечении горных пород с последующей их погрузкой и транспортировкой. В качестве основной техники и оборудования используются горные комбайны и буровзрывные методы. С целью исключить обрушение пород применяется либо укрепление, либо искусственное разрушение. В основном труд в горной промышленности является механизированным и ав-

томатизированным, но доля тяжелого ручного труда в виде вспомогательных трудовых операций и процессов все же присутствует на рабочем месте, сопровождаемая постоянным напряжением и угрозой для жизни в случае обрушения кровли и возможной гибели находящихся в этой зоне людей [3, 5].

Был проведен анализ условий труда, который показал, что данные рабочие места не соответствуют требованиям нормативных документов [2, 17]. Такие факторы как повышенный уровень виброакустического фактора, превышение предельно-допустимых концентраций АПФД, неблагоприятный микроклимат, а также повышенный уровень тяжести трудового процесса присутствуют на рабочем месте [7, 9, 11]. В таблице 1 представлена итоговая оценка условий труда для проходчика.

Профессиональный риск напрямую связан условиями труда и, поэтому в качестве расчетного количественного значения риска профзаболевания можем воспользоваться следующей формулой [10, 12, 13]:

$$R = N_3 / N$$

где N_3 – количество экспонируемых с выявленными профессиональными заболеваниями; N – общее количество экспонируемых.

Проведен анализ работ по данной тематике с целью выборки статистических данных по случаям возникновения профзаболеваний у персонала разных профессий этой отрасли в зависимости от стажа, результаты представлены на рисунке 1. Представлены такие профессии как: проходчик, машинист горных выемочных машин (МГВМ), электрослесарь подземный, горномонтажник, гронорбочий очистного забоя (ГРОЗ), горнорабочий подземный, горный мастер.

Таблица 1 – Комплексная оценка условий труда

Наименование факторов производственной среды и трудового процесса	Класс условий труда	Наименование факторов производственной среды и трудового процесса	Класс условий труда
АПФД	3.4	Микроклимат	3.2
Шум	3.2	Световая среда	2
Вибрация общая	2	Тяжесть труда	3.2
Вибрация локальная	3.2	Напряженность труда	2
Общая оценка условий труда 3.4			

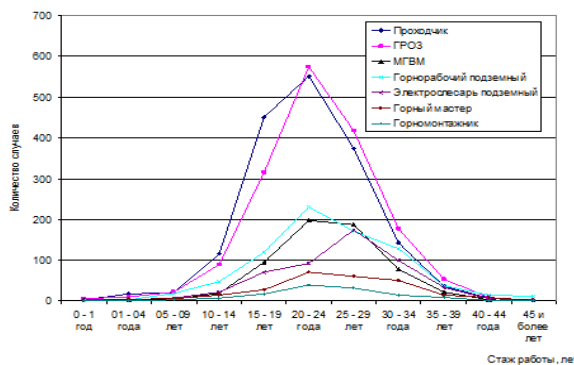
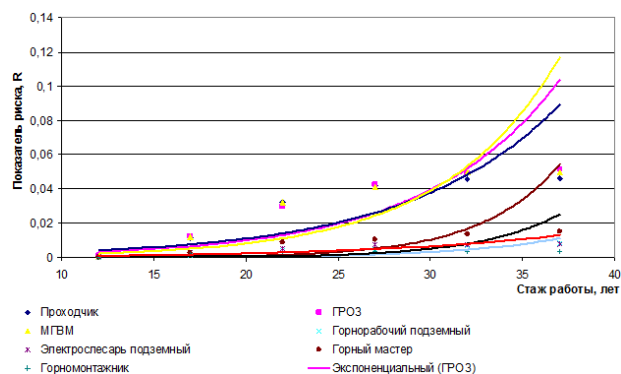


Рисунок 1 – Риск профессиональных заболеваний у работников в горнодобывающей отрасли

Проанализировав случаи профзаболеваний на угольных предприятиях, позволительно определить критический срок стажа работы по проходчикам, когда возникает максимальное количество заболеваний,

в среднем это 20-24 года (рис. 1). Наименьший риск наблюдается при увеличении стажа, возможно по причине того, что количество таких работников встречается значительно меньше в связи с ранним выходом

на льготную пенсию и прекращением своей трудовой деятельности из-за раннего выявления профессиональных заболеваний.

В качестве самых распространенных видов заболеваний встречаются профессиональный бронхит, вибрационная болезнь и потеря слуха вероятность наступления которых растет прямо пропорционально стажу работников (рис. 2).

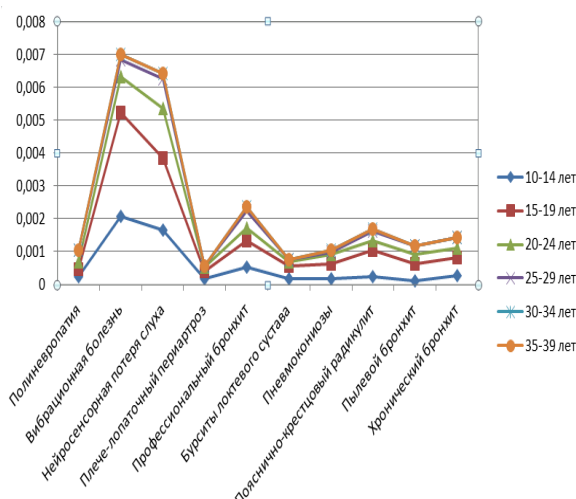


Рисунок 2 – Расчетные риски возникновения профессиональных заболеваний по различным формам нозологии

При проведении специальной оценки условий труда определяются вредные факторы, но не идентифицируется вероятность того, что фактор может привести к травматизму или острому или хроническому заболеванию, летальному исходу. При трудоустройстве потенциальный работник должен быть информирован о степени риска своего рабочего места, имея возможность отказаться или согласиться на данные условия труда.

Процедура управления профессиональными рисками включает в себя комплекс мероприятий по их выявлению, оценке и последующему снижению. Это стало возможно благодаря введению рискоориентированного подхода на предприятиях и усилению ответственности работодателя [15, 16, 18].

На сегодняшний момент для выполнения требований новых правил по охране труда, работодатель не только должен провести оценку профессиональных рисков, но и принять конкретные действия по применению ее результатов [6, 15, 19].

В первую очередь, пересмотр рисков начинается с идентификации опасностей на рабочих местах, определения вероятности и тяжести последствий опасных событий в соответствии с матрицей рисков (рис. 3). Далее производится определение рисков на рабочих местах (в соответствии с типовым классификатором рисков), оценка эффективности разработанных мер по управлению профессиональными рисками (при их наличии), оценка уровня остаточного риска с учетом результативности принятых защитных мер.

Таким образом, в оценку профессиональных рисков на сегодняшний момент входит ряд последова-

тельных этапов:

1. Выпуск приказа о создании комиссии (рабочей группы). В состав комиссии входит председатель комиссии по идентификации и оценке профессиональных рисков и члены комиссии.

2. Составление перечня рабочих мест, подлежащих оценке профессиональных рисков. Оформляется в виде табличных данных с указанием наименования профессии (должности) работника, числа человек на данном рабочем месте и используемого оборудования и материалов.

3. Оформление карты оценки профессиональных рисков по каждому рабочему месту, которая включает в себя: рассматриваемую ситуацию (аварийную и/или штатную), вид выполняемых работ, наименование опасностей и источников риска.

4. Разработка перечня (реестра) идентифицированных опасностей.

5. Разработка перечня мероприятий по снижению уровней профессиональных рисков.

6. Составление сводной ведомости по оценке профессиональных рисков (реестр рисков) по всем рабочим местам.

7. Разработка положения об управлении профессиональными рисками.

После получения отчёта по оценке профессиональных рисков в организации рабочей группе необходимо:

1. Подписать карты идентификации опасностей и оценки профессиональных рисков, а также сводные документы (перечень рабочих мест, реестр опасностей, реестр рисков, перечень мер).

2. Ознакомить работников об уровнях профессиональных рисков (о риске повреждения здоровья (рис. 3) в зависимости от установленного уровня) под роспись в картах идентификации опасностей и оценки профессиональных рисков.

3. Постоянно осуществлять мониторинг профессиональных рисков в организации, а именно:

– регулярно (не реже 1 раза в год) проводить плановую идентификацию опасностей и оценку рисков, пересмотр и выявление новых рисков, анализировать эффективность мер по управлению рисками, проводить оценку остаточного риска.

– проводить внеплановую идентификацию опасностей и оценку рисков в течение 30 рабочих дней со дня наступления несчастных случаев.

На основании представленного алгоритма произвели оценку профессионального риска для проходчика.

Риск относится к категории недопустимого 4 уровня с определением критериев тяжести последствий: «наличие вреда здоровью с угрозой для жизни или вызвавшего развитие угрожающего жизни состояния, включая утрату общей трудоспособности более 30% (от 1 до 5 случаев). От 1 до 5 случаев с летальным исходом. От 1 до 5 случаев: развития тяжелых форм профзаболеваний (с потерей общей трудоспособности); развития острого профзаболевания».

МАТРИЦА РИСКА							
ВЕРоятность ВОЗНИКНОВЕНИЯ	Весьма вероятно	5	5	10	15	20	25
	Вероятно	4	4	8	12	16	20
	Возможно	3	3	6	9	12	15
	Маловероятно	2	2	4	6	8	10
	Невероятно	1	1	2	3	4	5
Уровень			1	2	3	4	5
			Незначительный	Низкий	Средний	Высокий	Катастрофический
ТЯЖЕСТЬ ПОСЛЕДСТВИЙ							
Уровень		Тяжесть последствий		Критерии			Приемлемость
Малый (Незначительный) $1 \leq R < 4$		1		Незначительные травмы или случаи ухудшения здоровья, не оказывающие влияние на производительность труда и на жизнедеятельность. Профзаболевание не развивается.			Приемлемый
Допустимый (Низкий) $4 \leq R < 8$		2		Травмы или ухудшение здоровья с потерей трудоспособности до 21 дня, включая утрату общей трудоспособности менее 10%. Риск повреждения здоровья. Появление и развитие начальных форм профзаболеваний или профзаболеваний легкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности).			Приемлемый

Рисунок 3 – Матрица риска и фрагмент таблицы по тяжести последствий в зависимости от уровня риска и его приемлемость

Таблица 2 – Установленные виды опасностей у проходчика в соответствии с классификатором

Наименование опасности		Наименование опасности	
Механические опасности	- Опасность падения из-за потери равновесия при подкальзывании, при передвижении по скользким поверхностям или мокрым полам - Опасность падения на глубину (в яму, траншею, колодез, шахту и др.)	Опасности, связанные с воздействием тяжести и напряженности трудового процесса	- Опасность, связанная с перемещением грузов вручную (физико-динамическая нагрузка) - Опасность, связанная с рабочей позой - Опасность, связанная с наклонами корпуса тела работника более 30° - Опасность, связанная с перемещением работника в пространстве - Опасность психич. нагрузок, стресса
Опасность удара	- Опасность удара ручным инструментом - Опасность удара из-за падения случайных предметов	Виброакустические опасности	- Опасность воздействия шума и других его неблагоприятных характеристик
Опасность защемления, раздавливания, разрыва	- Опасность защемления или раздавливания под весом оборудования, приспособлений - Опасность защемления или раздавливания горной породой, земляными массами, камнями	Опасности, связанные с воздействием световой среды	Опасность воздействия недостаточной освещенности в рабочей зоне
Опасности взрыва	- Опасность обрушения горных пород при взрыве - Опасность возникновения взрыва, происшедшего вследствие образования искры - Опасность утонуть в момент затопления (шахты, помещения)	Опасности расположения рабочего места	- Опасность, связанная с выполнением работ на значительной глубине - Опасность, связанная с выполнением работ под землей
Электрические опасности	Опасность поражения электростатическим зарядом	Опасности из-за недостатка кислорода	Опасность недостатка кислорода в подземных сооружениях
Климатические опасности	Опасность воздействия пониженных температур воздуха	Опасности обрушения Опасности, связанные с АПФД	Опасность обрушения подземных конструкций Опасность повреждения органов дыхания частицами пыли

Рассмотрены штатные и аварийные ситуации для проходчика с учетом вида выполняемых работ в качестве примера в таблице 2 определены и приведены наименования опасностей на рабочем месте. Приемлемость риска и меры управления разрабатываются на каждом предприятии самостоятельно с учетом реального положения дел и перспектив.

Таким образом, оценка риска ущерба для здоровья работников от действия вредных и опасных факторов рабочей среды и трудовой нагрузки по вероятности нарушений здоровья с учетом их тяжести служит основанием для принятия управленческих решений по ограничению риска и оптимизации условий труда работников [4, 9].

После проведения всех этапов оценки профессиональных рисков производится информирование работников о результатах оценки и возможного повреждения здоровья, с внесением соответствующих дополнений в программу инструктажей на рабочем месте.

Заключение. По работе могут быть сделаны следующие выводы:

- 1) Проведен анализ условий труда проходчика участка буровзрывных работ горнодобывающей компании по результатам протоколов замеров аккредитованной организации по проведению СОУТ.
- 2) Выявлены вредные факторы с повышенным риском воздействия на здоровье персонала: АПФД

(класс 3.4), шум (класс 3.2), вибрация локальная (класс 3.2), неблагоприятный микроклимат (класс 3.2), тяжесть трудового процесса (класс 3.2).

3) Рассмотрена динамика случаев профзаболеваний на угольных предприятиях у персонала в зависимости от профессий и стажа.

4) Определен критический срок стажа 20-24 года (возникнове не максимального количества заболеваний).

5) Установлена причинно-следственная связь влияния вредных факторов, таких как АПФД и вибрации, на возникновение заболеваний легочной системы и вибрационной болезни, которые усугубляются воздействием неблагоприятного микроклимата.

6) Проведена оценка профессионального риска для проходчика матричным методом.

7) Установлено, что риск с определением критериев тяжести последствий у проходчика относится к категории недопустимого 4 уровня.

8) Установлены виды возможных опасностей при штатных и аварийных ситуациях для проходчика с учетом вида выполняемых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Трудовой кодекс РФ (ТК РФ) [Электронный ресурс]: федер. Закон от 30.12.2001 № 197 - ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.11.2021) Доступ из справ. - правовой системы «Консультант-Плюс».

2. Федеральный закон от 28. 12.13 № 426 – ФЗ «О специальной оценке условий труда». Доступ из справ. - правовой системы «Консультант-Плюс».

3. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями от 29.07.2018г.). Доступ из справ. - правовой системы «Консультант-Плюс».

4. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 01.11.2013 г. № 652н «Типовые нормы бесплатной выдачи сертифицированной специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам горной и металлургической промышленности и металлургических производств других отраслей промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением» Доступ из справочной правовой системы «Консультант-Плюс».

5. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года N 505 "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых". Доступ из справочной правовой системы «Консультант-Плюс».

6. О применении рискориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля и внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 17 августа 2016 г. № 806. Доступ из справ.- правовой системы «Консультант-Плюс».

7. Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по её заполнению [Электронный ресурс]: Приказ Минтруда России от 24.01.2014 г. № 33н. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

8. Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов, Порядка осуществления компенсационной выплаты в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов, и Перечня вредных производственных факторов, при воздействии которых в профилактических

целях рекомендуется употребление молока или других равноценных пищевых продуктов [Электронный ресурс]: Приказ Минздравсоцразвития от 16.02.2009 № 45н. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

9. Об утверждении перечней вредных и опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры, и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и опасными условиями труда [Электронный ресурс]: Приказ Минздравсоцразвития России от 28.01.2021 № 29н. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

10. Р 2.2.1766 - 03. 2.2. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки [Электронный ресурс]: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 24.06.2003. Доступ из справ. - правовой системы «Консультант-Плюс».

11. СанПиН 2.2.4.3359 – 2016. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [Электронный ресурс]: Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 21 июня 2016 года № 81. Доступ из справ. - правовой системы «Гарант».

12. Глушков В.А. Проблемы функционирования системы управления профессиональными рисками / В.А. Глушков, А.С. Сальников, Д.А. Гайниев // Вопросы современной науки. - 2017. –

13. Дементьева, Ю.В. Ретроспективный прогноз производственного травматизма с учетом степени тяжести здоровья пострадавших / Ю.В. Дементьева, Д.Л. Раенок, А.В. Матафонов // Проблемы безопасности российского общества. - 2017. - № 2. - С. 56-68.

14. Завьялкова, Е.С. Эффект от внедрения оценки профессиональных рисков / Е.С. Завьялкова // Научное обеспечение реализации государственных программ АПК (Лесниково, 2017): материалы междунар. науч.-практ. конф. - Лесниково: КГУ, 2017. - С. 562-564.

15. Завьялов, А. М. Прогнозирование производственного травматизма на основе множественного регрессионного анализа / А.М. Завьялов, Ю.В. Дементьева, Д.Л. Раенок // Проблемы безопасности российского общества. -2017. - № 2. - С. 36-50.

16. Тимофеева, С.С. Современные методы оценки профессиональных рисков и их значение в системе управления охраной труда / С.С. Тимофеева // XXI век. Техносферная безопасность. - 2016. - № 1. - С. 14-24.

17. Хрупачев, А.Г. Разработка структуры и методики расчета показателя социально-экономического ущерба, обусловленного работой в неблагоприятных условиях труда / А.Г. Хрупачев, А.А. Хадарцев, И.А. Кабанов // Вестник медицинских технологий. - 2017. - № 3. - С. 170-185.

18. Шварцбург, Л.Э. Оценка, анализ и управление профессиональными рисками в производственной среде / Л.Э. Шварцбург, С.А. Рябов // Главный механик. – 2014. – № 12. – С. 21-26.241.

19. Щема, Е.А. Методика оценки индивидуального профессионального риска / Е.А. Щема, О.А. Канунникова, В.С. Сердюк // Техносферная безопасность: материалы всерос. науч.-технич. конф. - Омск: ОмИздат, 2017. - С. 41-44.

Статья поступила в редакцию 28.12.2021

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 656.259.9

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0019

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ

© 2022

Ведерникова Анастасия Юрьевна, магистрант
Нарусова Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент
Стручалин Владимир Гайозович, кандидат технических наук, доцент
Ковусов Азим Байрамович, аспирант
*кафедра «Управление безопасностью в техносфере»
Российский университет транспорта
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9,*

e-mails: nastya98koteneva@gmail.com, e.narusova@ubt-rut-miit.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, kovusov@rambler.ru)

Аннотация. Пересечения железной дороги с другими транспортными путями являются местом потенциальной опасности аварий. По статистическим данным на переездах происходят катастрофы, обусловленные не только техническими причинами, но и поведением участников движения. Расследования происшествий показывают, что инциденты, приводящие к травмам и даже гибели людей характерны не только для нерегулируемых пешеходных переходов, но и для специально оборудованных светофорной сигнализацией мест пересечения. Статья посвящена вопросу оценки возможности возникновения опасной ситуации при пересечении железнодорожных путей пешеходами. Проведен анализ поведения людей и принятия ими решений на пешеходных переходах, оборудованных светофорной сигнализацией. Выполненные исследования направлены на разработку рекомендаций по совершенствованию оборудования мест организованного перехода людей через железнодорожные пути с целью снижения риска возникновения аварийной ситуации.

Ключевые слова: пешеходный переход, железнодорожные пути, светофорная сигнализация, оценка риска, психология поведения пешеходов, принятие решения.

ASSESSMENT OF THE RISK OF A DANGEROUS SITUATION WHEN CROSSING RAILWAY TRACKS

© 2022

Vedernikova Anastasya Yurievna, magistrant
Narusova Elena Yurievna, candidate of technical sciences, associate professor
Struchalin Vladimir Gaiozovich, candidate of technical sciences, associate professor
Kovusov Azim Bayramovich, graduate student
*«Management of safety in a technosphere»
Russian University of Transport
(127994, Russia, Moscow, Obraztsov St. 9, building 9,*

e-mails: nastya98koteneva@gmail.com, e.narusova@ubt-rut-miit.ru, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, kovusov@rambler.ru)

Abstract. Railway intersections with other transport routes are a place of potential danger of accidents. Statistics show that accidents occur at crossings caused not only by technical reasons, but also by the behavior of road users. Accident investigations show that incidents leading to injuries and even death of people are typical not only for unregulated pedestrian crossings, but also for specially equipped traffic light signaling crossing points. The article is devoted to the issue of assessing the possibility of a dangerous situation when crossing railway tracks by pedestrians. The analysis of the behavior of people and their decision-making at pedestrian crossings equipped with traffic lights is carried out. The research carried out is aimed at developing recommendations for improving the equipment of places where people cross railway tracks in an organized manner in order to reduce the risk of an emergency.

Keywords: pedestrian crossing, railway tracks, traffic light signaling, risk assessment, psychology of pedestrian behavior, decision-making.

Введение. Сеть железных дорог Российской Федерации охватывает огромную территорию. Исторически пересечения транспортных путей организовывались преимущественно в одном уровне. Пересечение железнодорожных путей в одном уровне является потенциально опасной ситуацией, поэтому в условиях интенсивного движения, особенно в пределах жилой застройки и соседства промышленных зон, организация этого процесса требует учета всех обстоятельств. Наилучшим решением проблемы является развитие транспортной инфраструктуры, строительство искусственных сооружений и организация разноуровневых

переходов, но по очевидным причинам это не всегда возможно. В связи с этим необходимо учитывать, что множество пересечений с небольшими дорогами долгое время будет оставаться одноуровневыми. Решение проблемы несчастных случаев при пересечении железнодорожных путей пешеходами требует разработки технических решений, учитывающих особенности поведения пешеходов в различных ситуациях.

Следует отметить, что если в случае с транспортным потоком ситуацию можно взять под контроль с помощью технических средств, то в случае пересечения железной дороги пешеходами это сделать доста-

точно сложно. При отсутствии ограждения на всем протяжении железной дороги практически невозможно воспрепятствовать образованию стихийного пешеходного перехода, который должен быть выявлен и оборудован в соответствии с требованиями [1]. Большое количество исследований посвящено вопросам безопасности на железнодорожных пешеходных переходах, разработкам концепции, устройств, приспособлений, обеспечивающих надежность его работы [2-7]. Отдельную группу представляют разработки устройств, обеспечивающих безопасность работников в зоне движения поездов [8-10]. Однако, несмотря на предпринимаемые усилия, инциденты, связанные с наездом подвижного состава на работников и пешеходов, продолжают регулярно происходить. Развитие высокоскоростного движения приводит к тому, что промежуток времени от появления подвижного состава в зоне видимости до достижения им места перехода значительно сокращается по сравнению с временем при обычных скоростях. В этом одна из причин ошибок пешеходов в оценке необходимого времени для безопасного перехода, особенно в случае привычного следования по известному маршруту. Таким образом, осуществление перехода железнодорожного пути, руководствуясь сигналами светофора, становится единственной гарантией безопасности.

Оценка риска события опасной ситуации на пешеходном переходе является актуальной задачей, для решения которой необходимо идентифицировать риск, проанализировать его и провести сравнительную оценку. Оценим риск опасной ситуации на пешеходном переходе, оборудованном светофорной сигнализацией.

Материалы и результаты исследования. В первом приближении модель возникновения опасной ситуации при пересечении железнодорожных путей на переходе, оборудованном светофорной сигнализацией, может быть описана следующим выражением:

$$P_{ос\ пер} = P_n P_a P (J_2 / \Pi_2) P(t_{пер} > t_{прибл}), \quad (1)$$

где P_n – вероятность появления поезда на участке приближения к пешеходному переходу;

P_a – вероятность ожидания пешеходом возможности для перехода через железнодорожные пути;

$P(J/\Pi)$ – условная вероятность того, что пешеход будет переходить через железнодорожные пути на запрещающее показание светофора пешеходного перехода;

$P(t_{пер} > t_{прибл})$ – вероятность того, что пешеход не успеет перейти железнодорожный путь перед приближающимся поездом.

Для дальнейшего совершенствования моделей безопасности в зонах перехода через железнодорожные пути необходимы дополнительные исследования, устанавливающие закономерности изменения времени перехода через пути, безопасного расстояния до поезда в зависимости от скорости. Кроме того, адекватное моделирование безопасности невозможно без изучения и учета психологии и мотивации поведения человека в зоне движения поездов.

Формула (1) отражает ситуацию, когда переход начинается на красный сигнал светофора. Принятие решения о возможности перехода зависит от нескольких факторов: мотивации к нарушению требований перехода железнодорожного пути; времени ожидания разрешающего сигнала пешеходного светофора; видимости приближающегося подвижного состава; индивидуальной склонности к риску.

Для изучения поведения пешеходов при принятии решения о переходе железнодорожных путей при запрещающем сигнале светофора было проведено экспертное исследование. Причем, в качестве дополнительного обстоятельства, существенного в подобной ситуации, было предложено отсутствие или наличие запаса времени.

Опрашиваемым предлагалось ответить на вопрос, через какой промежуток времени они начнут переходить железнодорожные пути по пешеходному переходу при запрещающем сигнале светофора в двух случаях: если они ощущают дефицит времени или обладают достаточным его запасом. При этом не принимались во внимание принадлежность опрашиваемых к различным возрастным или другим группам, психологические типы их личности и т.п.

Распределение ответов экспертов в случае отсутствия запаса времени показаны в виде диаграммы на рисунке 1.

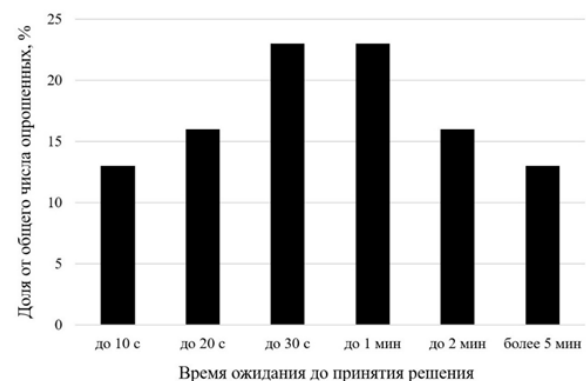


Рисунок 1 – Распределение времени до перехода при запрещающем сигнале при отсутствии запаса времени

Более половины опрошиваемых заявили, что при отсутствии запаса времени они начнут движение через железнодорожные пути примерно после 30с ожидания, если не увидят движущегося поезда. Другими словами, запрещающий сигнал светофора не является для этой группы людей достаточным основанием отказа от опасного поведения. При этом представителями этой группы совершенно не принимается во внимание факт, что запрещающий сигнал светофора всегда включается более, чем за 1 минуту (до 5 минут) до проследования поезда, поэтому ожидание в течение 30с совершенно неэффективно для обеспечения их безопасности. Полученный результат можно представить как функцию распределения вероятности перехода пешеходом железнодорожного пути при запрещающем сигнале светофора от времени ожидания на переходе (рис. 2).

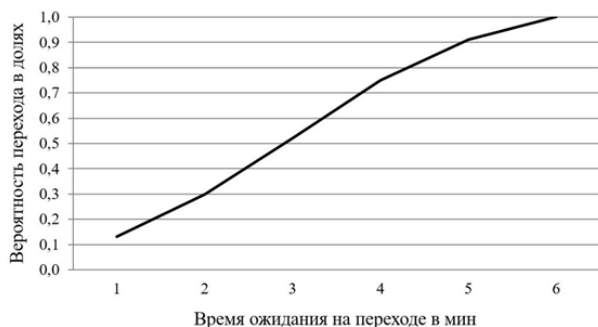


Рисунок 2 – Функция распределения времени до перехода при запрещающем сигнале при отсутствии запаса времени

Анализ ответов показал также, что решение о пересечении железнодорожных путей в случае подхода к пешеходному переходу при уже горящем красном сигнале светофора не зависит от этого обстоятельства и принимается так же, как в случае, если бы пешеход находился у перехода в момент его включения.

Ответы на вопрос о поведении в ситуации отсутствия дефицита времени показали, что опрошиваемые примут совершенно другое решение. Менее 10% начнут движение через железнодорожные пути через 30с после включения запрещающего сигнала светофора. Распределение ответов в этом случае показаны в виде диаграммы на рисунке 3.

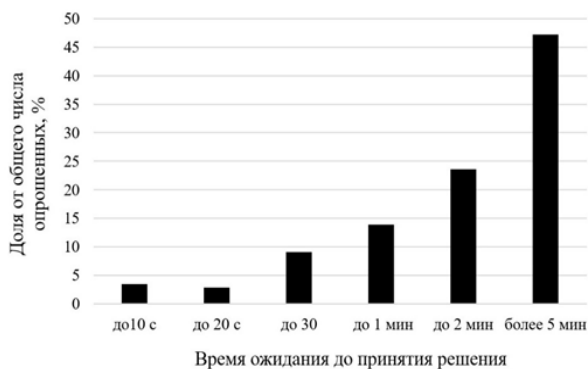


Рисунок 3 – Распределение времени до перехода при запрещающем сигнале при наличии запаса времени

Однако нельзя не отметить наличие небольшой группы, представители которой будут переходить пути менее, чем через 10с, то есть почти не задумываясь и не анализируя опасность, несмотря на запрещающий сигнал светофора даже при наличии запаса времени. Очевидно, такой результат свидетельствует, что принятие решения о совершении опасного поступка для определенной группы людей зависит не от внешних обстоятельств, а от особенностей личности. Поэтому, несмотря на предпринимаемые усилия по совершенствованию систем безопасности и оборудования, при наличии физической возможности нарушения правил сохраняется вероятность трагических происшествий с участием пешеходов.

Для решения задачи определения вероятности перехода используем один из методов статистического моделирования - метод Монте – Карло [11,12].

Данный метод, как известно, предполагает на-

копление данных статистики по результатам серии независимых генераций случайной величины. Будем использовать типовой, встроенный в компьютер датчик случайных величин, равномерно распределенных в интервале 0-1.

В программе *Excel* обращение к этому датчику задается командой *СЛУЧИС*, после выполнения которой мы получаем число в интервале 0-1 – это так называемое рандомизированное случайное число *RND*. Для генерации интервалов от 0 до 5 мин воспользуемся формулой: $X = 5 \cdot RND$.

Аналогичным образом мы поступим при моделировании ситуации в условиях наличия необходимого запаса времени (рис. 4).

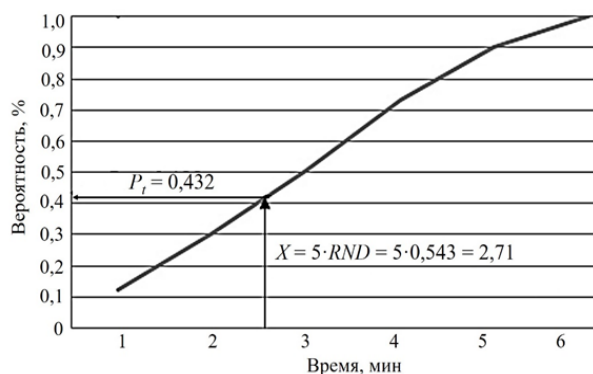


Рисунок 4 – Функция распределения времени ожидания при наличии запаса времени

Следует отметить, что исследование проводилось только для ситуаций, связанных с наличием или отсутствием дефицита времени. Однако необходимо учитывать, что в одних и тех же условиях принятие решения о действии, связанном с определенной долей риска, будет зависеть от психологических особенностей различных групп лиц [13-19].

Исследования, связанные с безопасностью на пешеходных переходах не только железнодорожных путей, но и автомобильных дорог, показывают, что несчастные случаи при пересечении пешеходами транспортных путей связаны не только с организацией движения и техническими решениями, но и с особенностями поведения, которые необходимо учитывать при решении этой проблемы [20].

Вывод. Математическое моделирование возникновения опасных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта является актуальной задачей, имеющей практическое значение для обеспечения достаточной точности оценки рисков от наездов подвижного состава. С помощью моделирования можно оценить риски опасных событий при пересечении железнодорожных путей в месте пешеходных переходов, а также эффективность мероприятий по совершенствованию систем сигнализации еще на стадии разработки.

В работе показана необходимость учета психологических особенностей поведения человека в опасных зонах при разработке моделей оценки опасных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волков А.В., Грибков О.И., Потапов П.Н. «Психология поведения граждан при переходе через железнодорожные пути в зоне организованного пешеходного перехода». Актуальные проблемы социально-экологической и экономической безопасности Поволжского региона. Сборник материалов V международной научно-практической конференции. Казанский филиал МИИТ Казань 2013 г.
2. Тарасова, А.Е. Повышение пропускной способности и безопасности на переездах совершенствованием алгоритма функционирования АПС / А.Е. Тарасова // Дни студенческой науки : Сборник материалов 46-ой научной конференции обучающихся Самарского государственного университета путей сообщения. В трех томах, Самара, 02–25 апреля 2019 года. – Самара: Самарский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 115-117.
3. Тарасова, А.Е. Разработка концепции автоматизированной системы управления предупредительно-оповестительной сигнализацией на пешеходных переходах / А.Е. Тарасова, А.Г. Исайчева // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития : материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшекласников: в 3 частях, Самара-Оренбург, 05 апреля 2017 года. – Самара-Оренбург: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2017. – С. 131-132.
4. Правила нахождения граждан и размещения объектов в зонах повышенной опасности, выполнения в этих зонах работ, проезда и прохода через железнодорожные пути. – М. : Минтранс РФ, 2007. – 5 с.
5. Исайчева, А.Г. Безопасность на железнодорожных пешеходных переходах / А.Г. Исайчева, А.Е. Тарасова // Вестник СамГУПС. – 2016. – № 1(31). – С. 24-28.
6. Устройство оповещения граждан на пешеходном переходе через железнодорожные пути о приближении подвижного состава. Волков А.В., Грибков О.И., Пономарев В.М., Потапов П.Н. Патент на изобретение RU 2538309 С1, 10.01.2015. Заявка № 2013151644/08 от 21.11.2013.
7. Устройство оповещения граждан на пешеходном переходе через железнодорожные пути о приближении подвижного состава. Волков А.В., Грибков О.И. В сборнике: Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности поволжского региона. Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Казанский филиал МИИТ. 2015. С. 160-164
8. Патент № 2284939 С1 Российская Федерация, МПК В61L 29/00. Устройство для предупреждения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах : № 2005110388/11 : заявл. 12.04.2005 : опубл. 10.10.2006 / М. А. Шевандин, А. М. Анненков, В. И. Жуков [и др.] ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ).
9. Волков, А. В. Обеспечение безопасности работников железнодорожного транспорта на пешеходных служебных маршрутах / А.В. Волков, О.И. Грибков, Д.А. Прокопенко // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – Т. 2. – № 1. – С. 152-155.
10. Стручалин, В.Г. Моделирование формирования экспертных требований к средствам оповещения для обеспечения безопасности работ на железнодорожных путях / В.Г. Стручалин, Е. Ю. Нарусова, В.Ю. Навцена // Качество. Инновации. Образование. – 2021. – № 2(172). – С. 48-55. – DOI 10.31145/1999-513x-2021-2-48-55.
11. A.N. Metropolis and S. Ulam, "The Monte Carlo Method," Journal of the American Statistical Association, Vol. 44, No. 247, 1949, pp. 335-341. doi:10.1080/01621459.1949.10483310
12. Раменская, А.В. Метод Монте-Карло и инструментальные средства его реализации : методические указания / А.В. Раменская, К.В. Пивоварова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 58 с.
13. Ильин Е.П. Психология риска / Е.П. Ильин. – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-459-00880-7.
14. Бунас А.А. Личностно-психологические предикторы склонности к рискованному поведению / А.А. Бунас // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2013. – № 2. – С. 5-8.
15. Миняхина К.А. Теоретико-методологический анализ феномена склонности к риску у работников экстремального профиля / К.А. Миняхина, А.А. Кузнецова // Психология здоровья и болезни: клинико-психологический подход : Материалы IX Всероссийской конференции с международным участием., Курск, 21–22 ноября 2019 года / Под редакцией П.В. Ткаченко. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2019. – С. 209-213.
16. Миняхина К.А. Склонность к риску как объект современных психологических исследований: теоретико-методологический анализ / К.А. Миняхина, А.А. Кузнецова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Лингвистика и педагогика. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 199-212.
17. Сухорукова, М.Г. Психологический профиль подростка, склонного к риску / М.Г. Сухорукова // Современная реальность в социально-психологическом контексте : сборник научных материалов, Новосибирск, 28 февраля – 01 марта 2018 года / под научной редакцией О.А. Белобрыкиной, М.И. Кошеновой; Министерство образования и науки РФ; Новосибирский государственный педагогический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный педагогический университет, 2018. – С. 168-174.
18. Кленова М.А. Структура представлений о риске у представителей разных поколений / М.А. Кленова // Альманах современной науки и образования. – 2010. – № 8. – С. 105-109.
19. Bocharova, E.E. International Scientific Conference "Strakhov Readings - 2019: Positive Psychology of Personality and Group" / E.E. Bocharova, M.A. Klenova // Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Educational Acmeology. Developmental Psychology. – 2019. – Vol. 8. – No 4. – P. 385-386. – DOI 10.18500/2304-9790-2019-8-4-385-386.
20. Чикалин, Е.Н. Современные технологии повышения безопасности дорожного движения / Е.Н. Чикалин, В.К. Чикалина // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 274-278.

Статья поступила в редакцию 29.12.2021

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 614.841.2.001.2

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0020

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК ПО ЕГО МИКРОСТРУКТУРЕ

© 2022

Мокряк Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, начальник отдела экспертизы пожаров и организации подготовки экспертов Исследовательского центра экспертизы пожаров

Мокряк Анна Васильевна, научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров Исследовательского центра экспертизы пожаров

Букаткин Алексей Сергеевич, обучающийся Института безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(196105, Санкт-Петербург, Московский проспект 149,
e-mails: mokand7@mail.ru, mokryakanna@mail.ru, bukatkin_a_s@mail.ru)

Аннотация. Из-за высокого темпа развития электрификации жизни, наиболее частой причиной пожаров становится электрооборудование. Медь широко применяется в электротехнике для изготовления силовых кабелей, проводов или других проводников. Исследование медных проводников после термического воздействия является одной из самых востребованных в экспертных лабораториях и подразделениях МЧС России, поскольку возникновение горения из-за аварийных режимов в электропроводке рассматривается практически на каждом пожаре. В данной статье предложено исследование медных проводников для определения температуры воздействия после пожара методом сканирующей электронной микроскопии. Проведён отжиг медных однопроволочных проводников при температурах от 400 до 1000°C и временах выдержке 15, 30 и 45 мин. Измерена толщина оксидного слоя, возникающего на медном проводнике при различных температурно-временных режимах отжига. Приведены значения толщин оксидного слоя, по которым можно оценить температурное воздействие на медный проводник после пожара. Данные исследования помогут пожарно-техническим экспертам в проведении экспертизы и установлении возможной причины пожара [1-3].

Ключевые слова: медь, медные проводники, микроструктура, электрооборудование, оксидная пленка, нагрев, пожар, пожарно-техническая экспертиза, исследование, сканирующая электронная микроскопия.

ASSESSMENT OF THE TEMPERATURE EFFECT ON A COPPER CONDUCTOR IN THE STUDY OF ITS MICROSTRUCTURE

© 2022

Mokryak Andrei Yurievich, candidate of technical sciences,
head of the department of fire expertise Fire Expertise Research Centre

Mokryak Anna Vasievna, researcher of the department of calculative methods and informational technologies
in the fire expertise Fire Expertise Research Centre

Bukatkin Aleksei Sergeevich, the student Institute of Life Safety
Fire Service of EMERCOM of Russia
(196105, St. Petersburg, Moskovskiy prospect, 149,
e-mails: mokand7@mail.ru, mokryakanna@mail.ru, bukatkin_a_s@mail.ru)

Abstract. Due to the high rate of development of electrification of life, the most common cause of fires is electrical equipment. Copper is widely used in electrical engineering for the manufacture of power cables, wires or other conductors. The study of copper conductors after thermal exposure is one of the most popular in expert laboratories and departments of the Ministry of Emergency Situations of Russia, since the occurrence of gorenje due to emergency modes in the wiring is considered at almost every fire. In this article, a study of copper conductors for determining the exposure temperature after a fire by scanning electron microscopy is proposed. Annealing of copper single-wire conductors was carried out at temperatures from 400 to 1000°C and exposure times of 15, 30 and 45 minutes. The thickness of the oxide layer formed on a copper conductor under various temperature-time annealing conditions was measured. The values of the thickness of the oxide layer are given, by which the temperature effect on the copper conductor after a fire can be estimated. These studies will help fire and technical experts in conducting an examination and determining the possible cause of the fire.

Keywords: copper, copper conductors, microstructure, electrical equipment, oxide film, heating, fire, fire technical expertise, research, scanning electron microscopy.

Введение. Исследование медных проводников при проведении пожарно-технической экспертизы выполняется практически на каждом пожаре. Это обусловлено необходимостью анализа электротехнической версии причины пожара. Как правило, основной целью данного исследования является поиск следов

протекания пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования [1-4]. Основными методами исследования, которые применяет пожарно-технический эксперт при такого рода работах является визуальное исследование, рентгенофазовый анализ и металлографический анализ. Признаки аварийных

режимов, выявляемые теми или иными методами, могут нивелироваться при отжиге медных проводников в ходе пожара. Так, например, нагрев до 900°C медного проводника, оплавленного электрической дугой, вызывает исчезновение признака первичного-вторичного короткого замыкания, выявляемого при исследовании методом рентгенофазового анализа. По этой причине информация о температурном воздействии на медные проводники в ходе пожара относится к числу криминалистически значимых. Известно, что оценка термических поражений медного проводника может выполняться визуальным способом [4]. Однако такой способ дает достаточно грубую оценку температурного воздействия. Также известно о возможности оценки температуры, воздействию которой подвергся медный проводник, путем измерения размера зерна при проведении металлографического анализа [4-6].

Целью данной работы было проведение экспериментальных исследований по выявлению более точной возможности оценки температурного воздействия на медный проводник при анализе его микроструктуры методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Материалы и результаты исследования. Известно, что окисление меди протекает по следующим химическим реакциям при температурах 400 и 800°C, соответственно [7-9]:



Визуально окисление в результате внешнего термического воздействия меди можно наблюдать по наличию характерных оксидов чёрного и красного цвета (CuO и Cu_2O , соответственно) на поверхности медного проводника [4].

Метод сканирующей электронной микроскопии, среди прочего, даёт возможность исследования среднего химического состава. Это позволяет наблюдать оксидную пленку на поверхности металла, а также измерять её толщину.

Для выявления возможности оценки термического воздействия после пожара на медные проводники были выбраны медные однопроволочные проводники диаметром 1,7 мм, длиной 10 см. Отжиг проводников проводили в муфельной печи «МИМП-10 П» с программным управлением в присутствии продуктов сгорания различных горючих материалов (древесина, резина) с целью имитации условий пожара.

Воздействие внешнего тепла пожара моделировалось следующим образом: в не разогретую муфельную печь помещали образцы медных проводников без изоляции. Условия проведения отжига: температура нагрева 400 – 1000°C с шагом 100°C; скорость нагрева – 15°град/мин; время выдержки при заданных температурах – 15, 30, 45 мин; охлаждение до комнатной температуры – медленное, при открытой дверце в муфельной печи.

Пробоподготовка отожжённых медных проводников – запрессовка, шлифовка и полировка - осуществлялась с помощью металлографического оборудования. Медные проводники после металлографической пробоподготовки подвергались химическому травлению в растворе соляной кислоты и хлорного железа. Исследования полученных образцов проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа *Tescan Vega\XMU* при увеличениях до 2000× [9-13].

Основные результаты проведённых исследований систематизированы на изображениях микроструктур, приведённых на рисунке 1.

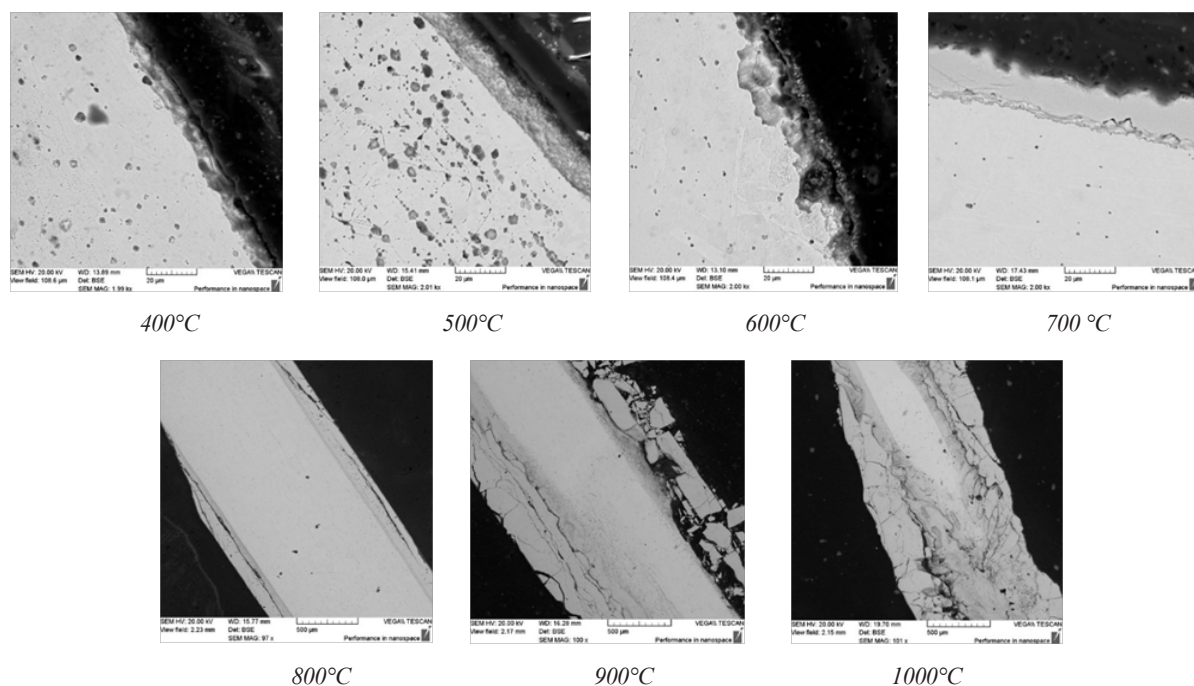


Рисунок 1 – Изменение толщины оксидного слоя на медном проводнике при отжиге до различных температур в течение 30 мин (увеличения приведены на снимках SEM MAG)

Для удобства визуального восприятия и наблюдения оксидной пленки, микроструктуры проводников, отожженных от 400 до 700°C, показаны при увеличениях 2000 крат, а проводники, нагретые свыше этой температуры - при увеличении 100 крат.

В первую очередь исследования показали то, что основным фактором, влияющим на формирование оксидной пленки на медном проводнике, является температурное воздействие. При этом отжиг при 15, 30 и 45 минутах оказывает незначительное влияние на ее толщину [14-15].

При температурах отжига от 400 до 700°C зафиксировано незначительное увеличение толщины оксидного слоя на поверхности медных проводников.

Однако при данных температурах на толщину оксидной пленки также оказывает некоторое влияние и длительности температурного воздействия. Это обстоятельство не даёт возможности оценки термического влияния на медные проводники после пожара [16-20].

При температуре около 700°C зафиксировано резкое – в 4,5 раза – увеличение оксидного слоя. Дальнейшее возрастание температуры до 1000°C, показало увеличение толщины оксидного слоя еще в 3 раза. Таким образом, по толщине оксидного слоя выше 700°C можно судить об оценочной величине термического воздействия на медный проводник.

Графическая интерпретация изменения толщины оксидного слоя в зависимости от температурно-временного влияния приведена на рисунке 2.

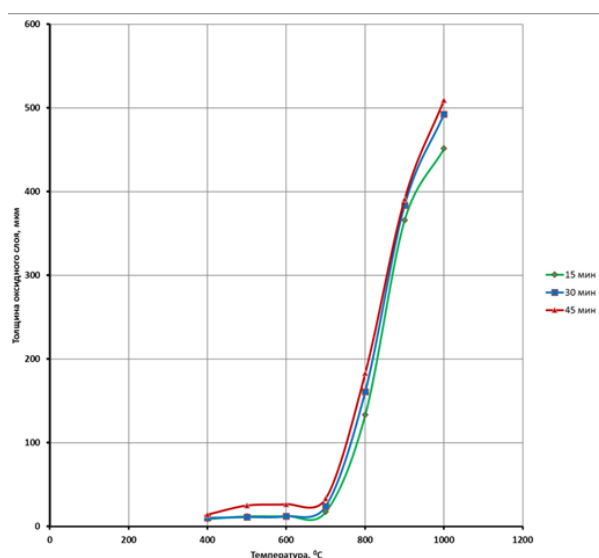


Рисунок 2 – Изменение толщины оксидного слоя при отжиге

Данный график может быть использован при проведении пожарно-технического исследования медных проводников с целью оценки температуры воздействия на него.

Кроме того, для решения задач пожарно-технической экспертизы и экспертного исследования медных проводников при анализе сохранности признаков пожароопасных аварийных режимов работы электрооборудования, можно использовать данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Характерные признаки температурного воздействия на медный проводник, выявляемые методом СЭМ

Микроструктура		Температура отжига и ее характерные признаки
		400 – 700°C Образование оксида меди CuO, толщина оксидной пленки до 10 мкм
		700 – 900°C Увеличение толщины оксидного слоя и местами его отслаивание, толщина оксидной пленки до 20 - 250 мкм
		900 - 1000°C Интенсивное образование оксидной пленки, толщина оксидной пленки 400 - 500 мкм

Заключение. Таким образом по результатам проведённых исследований оксидного слоя медного проводника можно сделать следующие выводы.

До температурного воздействия 700°C наблюдается слабый рост толщины оксидного слоя. Дифференцировать температурное воздействие в зависимости от толщины оксидного слоя до этих температур нецелесообразно, поскольку значения измеряемой величины находятся в пределах погрешности. Однако при температуре отжига выше 700°C происходит резкий рост оксидного слоя. Это даёт возможность оценить температурное воздействие на медный проводник по толщине оксидного слоя. Также эксперименты показали, что такая картина наблюдается при временах отжига 15, 30 и 45 минут, что характеризует температурное воздействие как основной влияющий фактор на образование оксидного слоя. Полученные результаты можно отнести к криминалистически значимой информации и могут быть использованы при проведении пожарно-технических исследований медных проводников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: ООО «КАБЕЛЬ». – 2009. – 328 с.
2. Колмаков А.И., Граненков Н.М., Зернов С.И., Пеньков В.В., Соколов Н.Г., Степанов Б.В., Таубкин И.С., Чешко И.Д.. Экспертное исследование металлических изделий (по делам о пожарах) / Учебное пособие /М. ЭКЦ МВД России. – 1993. – 104 с.
3. Колмаков А.И., Степанов Б.В., Зернов С.И., Россинская Е.Р., Соколов Н.Г. Диагностика причин разрушения металлических проводников, изъятых с мест пожаров: Методические рекомендации. – М.: ЭКЦ МВД Р. – 1992. – 32 с.
4. Мокряк А.Ю., Чешко И.Д., Парийская А.Ю., Плотников В.Г., Скодтаев С.В., Мокряк А.В. Экспертное исследование после пожара медных проводников. - Методические указания. – СПб.: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Санкт-Петербург). – 2019. – 149 с.
5. А.Ю. Мокряк, З.И. Тверьянович, И.Д. Чешко, А.Н. Соколова. Металлографический и морфологический атлас объектов, изымаемых с мест пожаров. – М.: ВНИИПО, 2008. – 184 с.
6. Кончакова И.С., Колмаков А.Г., Гвоздев А.Е. Особенности влияния термического воздействия на структурные изменения в медных проводниках. Материаловедение. – 2020. – № 12. – С. 3-9.
7. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов. -М.: Металлургия, 1965. – 428 с.
8. Александров, А.А. Методические рекомендации по исследованию медных проводников в зоне короткого замыкания и термического воздействия для электропроводок автомобилей Волжского завода [Текст] / А.А. Александров. – М.: ВНИИПО. – 1993. – 35 с.
9. Воронов, С.П. Исследование медных проводников с целью установления признаков очага пожара [Текст] / С.П. Воронов, Н.М. Булочников, Ю.И. Черничук, С.В. Москвич // Сборник научных трудов ВНИИПО. – М.: ВНИИПО. – 2004. – С. 227-228.
10. Erlandsson R., Strand G. An Investigation of Physical Characteristics Indicating Primary or Secondary Electrical Damage // Fire Safety J. – 1984. Vol. 8. – p. 97-103.
11. Ettling B.V. Problems with Surface Analysis of Copper Beads Applied to the Time of Arcing // The Fire Place. – 1997. – Vol. 4. – p. 21-24.
12. Осинцев О.Е. Металловедение и термическая обработка меди и сплавов на ее основе: Учебное пособие [Текст] / О.Е. Осинцев. – М., 1994. – 150 с.
13. Панов, А.Г. Исследование микроструктуры методами автоматического анализа изображения ImageExpert Pro 3 и ImageExpert Sample 2: Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу "Методы исследования материалов и процессов" [Текст] / А.Г. Панов. - Наб. Челны: ИНЭКА. – 2009. – 63 с.
14. Пантелеев, В.Г. Компьютерная микроскопия [Текст] / В.Г. Пантелеев, О.В. Егорова, Е.И. Клыкова. – М. : Техносфера – 2005. – 304 с.
15. Howitt D.G. The Surface Analysis of Copper Arc Beads - A Critical Review // J. Forensic Science. – 1997. – Vol. 42. – p. 608-609.
16. Howitt D.G. The Chemical Composition of Copper Arc Beads - A Red Herring for the Fire Investigator // Fire and Arson Investigator. – 1998. – Vol. 48. – p. 34-39.
17. Пехотиков, В.А. Определение причастности к пожару электропроводок в стальных оболочках [Текст] / В.А. Пехотиков, В.В. Янишевский, А.В. Богданов, Г.А. Дюбаров // Пожарная профилактика в электроустановках. – М.: ВНИИПО. – 1985. – С. 65-73.
18. Ettling B.V. Electrical Wiring in Building Fires // Fire Technology. – 1978. – Vol. 14, p. 317-325.
19. Gray D.A., Drysdale, D.D., Lewis F.A. Identification of Electrical Sources of Ignition in Fires. // Fire Safety J. – 1983. – Vol. 6. – p. 147-150.
20. Hagemue, W. Die metallographische Untersuchung von Kupferleitern als Method zur Untercheidung zwischen primaren und sekundaren Kurzschlussen // Schriftenreihe der Deutsch Volkspolizei. – 1963. – № 7-12. – p. 1160-1170.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0021

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ РИСКОВ ОБУСЛОВЛЕННЫХ НАРУШЕНИЕМ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

© 2022

Авдонина Любовь Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»

Вершинин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru)

Аннотация. Рассматривается математическая модель прогнозирования аварийных рисков, обусловленных нарушением охраны труда при эксплуатации взрывоопасных изделий. Приводится пример, иллюстрирующий предложенную модель, показывающий, что для времени функционирования подсистемы «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда» $0 \leq t \leq 0,4\tau$ наблюдается нестационарный режим управления (комплектование штата), для $\tau > 0,4\tau$ стационарное управление (постоянный штат сотрудников). Анализируются граничные значения интенсивностей контроля в группах пониженного риска, возникающие перед работниками системы контроля задачи на начальный период ($0 \leq t \leq 0,4\tau$) функционирования объекта. Анализ динамики рисков подтвердил необходимость отстранения сотрудников предприятия, занятых с обращением взрывоопасных изделий, от выполнения должностных обязанностей при любом нарушении правил техники безопасности вне зависимости от его тяжести.

Ключевые слова: охрана труда, изделие, безопасность, потенциально опасный объект, марковский случайный процесс, аварийная ситуация, обслуживание взрывоопасных изделий.

A MODEL FOR PREDICTING EMERGENCY RISKS CAUSED BY A VIOLATION OF LABOR PROTECTION DURING THE OPERATION OF EXPLOSIVE PRODUCTS

© 2022

Avdonina Lyubov Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the department of Technosphere Safety,

Vershinin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the department of Technosphere Safety,

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40, e-mails: laviks@yandex.ru, nvershinin@yandex.ru)

Abstract. The mathematical model of forecasting of emergency risks caused by violation of labor protection during operation of explosive products is considered. An example illustrating the proposed model is given, showing that for the time of operation of the subsystem "object of work with explosive products – environment". $0 \leq t \leq 0,4\tau$, non-stationary control is observed (a labor collective is formed at the facility), for $\tau > 0,4\tau$ – stationary control (a labor collective has been formed). The extreme values of control intensities in low-risk groups are considered, the task is set for the employees of the control system for the initial period ($0 \leq t \leq 0,4\tau$) of the object's functioning. It is shown that the control should identify all violations of the rules of operation of products, service personnel for violation of these rules are suspended from performing official duties.

Keywords: labor protection, product, safety, potentially dangerous object, Markov random process, emergency, maintenance of explosive products.

Введение. Второе десятилетие 21 века все больше подчеркивает значимость усилий, направленных на снижение рисков природных и техногенных катастроф, смягчение последствий чрезвычайных ситуаций за счет разработки современных систем управления рисками [1].

Определяющими условиями эффективности в области управления рисками и решения задач обеспечения безопасности является учет всего спектра существующих в техносфере опасностей и исчерпывающего объема данных обо всех принятых решениях в этой области.

При этом крайне важно, чтобы информация о существующей политике в области управления рисками была доступна широкому кругу заинтересованных

лиц [2, 23, 25].

Направления технической и технологической модернизации промышленности акцентированы на создании агломераций промышленных объектов различного назначения, сложности производственных цепочек, и, что естественно, рисков безопасности. Необходимо помнить о совокупной оценке рисков объекта промышленной агломерации с учетом существующей рискованной взаимосвязи объектов. Особенно в том случае, если не исключено их взаимное влияние, то есть быть источниками дополнительного риска [1, 3, 24, 25]. Очевидно, что эффективным будет лишь комплексный подход к принятию решений о методах снижения риска на современном промышленном предприятии, и именно таким образом обеспечивает-

ся приемлемый уровень риска для окружающей социальной сферы [4, 24].

Целью работы является создание математической модели возникновения чрезвычайной ситуации на объектах работ с взрывоопасными изделиями и снижение риска при производстве работ на потенциально опасном предприятии.

1. Группы риска обслуживающего персонала. Предлагается на основе теории управления стохастическими ветвящимися процессами [5] модель возникновения аварийного риска в подсистеме «*объект работ с взрывоопасными изделиями – среда*» из-за нарушения правил эксплуатации взрывоопасных изделий обслуживающим персоналом [1].

По степени опасности производственного риска при обращении с взрывоопасными изделиями персонал можно разделить на несколько групп. Пусть количество работников в группах является случайной величиной: в группе №1 – $r_1(t)=h_1$, в группе №2 – $r_2(t)=h_2, \dots$, в n -ой группе – $r_n(t)=h_n$. Условимся, что уровень риска возрастает с ростом номера группы. Тогда процесс обращения с взрывоопасными изделиями легко представить в виде графа, в котором переход

работника в группу с большим номером происходит вследствие нарушения правил эксплуатации взрывоопасных изделий (ПБЭВИ), то есть риск закономерно возрастает с увеличением числа нарушений требований безопасности, что так же повышает вероятность отстранения работников от должностных обязанностей (рис. 1) [6].

Рассмотрим процесс повышения уровня риска при выполнении операций на опасном производственном объекте.

Запуск процесса происходит в некоторый начальный момент времени $\Delta t \rightarrow 0$, во время которого с вероятностью $P_{i,i+1}$ некоторый работник повышает группу риска, а в случае нарушения ПБЭВИ, происходящего с вероятностью β_i , отстраняется от выполнения своих должностных обязанностей [6, 22, 26].

Структура случайного (марковского) процесса, описывающего вероятностную модель развития процесса, приведена на рисунке 2.

Марковская модель системы подразумевает два процесса: изменение состояния системы вследствие случайного события $h_1, h_2, \dots, h_i, h_n$, или сохранение прежнего состояния [6].



Рисунок 1 – Схема изменения номера группы персонала по уровню риска по количеству нарушений требований безопасности

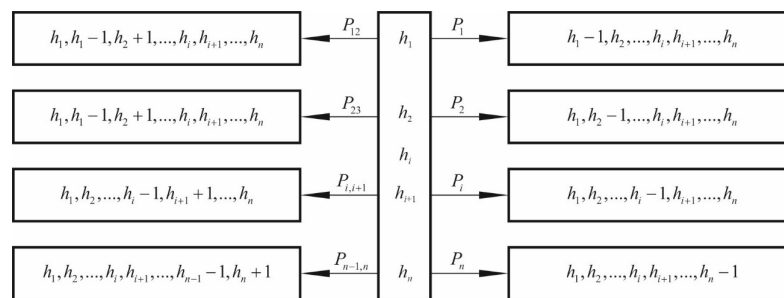


Рисунок 2 – Дерево вероятностных переходов случайного процесса изменения техногенного аварийного риска на объекте работ с взрывоопасными изделиями

Вероятность сохранения стохастической системы своего состояния определяем на основе методики, изложенной в Федеральном законе № 22-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»:

$$P(t + \Delta t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) = (1 - \sum_{i=1}^n h_i \alpha_{i,i+1} \Delta t + h_i \beta_i \Delta t) \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) + \sum_{i=1}^{n-1} (h_i + 1) \alpha_{i,i+1} \Delta t \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) + \sum_{i=1}^{n-1} h_{i+1} \beta_i \Delta t \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n). \tag{1}$$

Из (1) при $t \rightarrow 0$ получаем:

$$\begin{cases} \frac{dP(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n)}{dt} = - \sum_{i=1}^n h_i (\alpha_{i,i+1} + \beta_i) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) - \\ - (h_i + 1) ((\alpha_{i,i+1} + \beta_i) \cdot P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n)), \\ h_1 = 0, 1, 2, \dots; h_2 = 0, 1, 2, \dots; \dots; h_n = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \tag{2}$$

Уравнение (2) является линейным однородным дифференциальным уравнением.

2. Математическая модель возникновения чрезвычайной ситуации на объектах работ с взрывоопасными изделиями. Граничные (начальные) условия для расчета системы обыкновенных дифференциальных уравнений

(2) находим из условия случайного распределения работников между группами риска.

Получаем:

$$P(0; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_1^0, h_2 = h_2^0, \dots, h_i = h_i^0, \dots, h_n = h_n^0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_1^0, h_2 \neq h_2^0, \dots, h_i \neq h_i^0, \dots, h_n \neq h_n^0, \end{cases} \quad (3)$$

Система уравнений (2) с условиями (3) образуют вероятностную математическую модель возникновения ЧС на объектах работ с взрывоопасными изделиями вследствие нарушения ПБЭВИ [8, 22].

Преобразуем (2) в дифференциальное уравнение в частных производных относительно производящей функции, которая может быть представлена как сумма вероятностей событий системы при любом числе сотрудников в группах риска процесса:

$$\Phi(t; f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n) = \sum_{\substack{h_1=0 \\ \dots \\ h_i=0 \\ \dots \\ h_n=0}}^{\infty} P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) f_1^{h_1} f_2^{h_2} \dots f_i^{h_i} \dots f_n^{h_n}, \quad (4)$$

где f_1, f_2, \dots, f_n – некоторые переменные.

В общем виде решение уравнения (2) имеет вид: $\Phi(t; f_1, f_2, \dots, f_n) = \phi(o_1, o_2, \dots, o_n)$,

где ϕ – произвольная функция от 1 до n аргументов.

Функцию $\phi(o_1, o_2, \dots, o_n)$ определим из начального условия (3) $P(0; h_1^0, h_2^0, \dots, h_n^0) = 1$, все остальные вероятности равны нулю [6]:

$$\phi(o_1(0), o_2(0), \dots, o_n(0)) = f_1^{h_1^0} f_2^{h_2^0} \dots f_n^{h_n^0}, \quad (5)$$

где $f_1^{h_1^0} f_2^{h_2^0} \dots f_n^{h_n^0}$ – решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} f_1 - \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12} + \beta_1} f_2 = \frac{\beta_1 - e^{-(\alpha_{12} + \beta_1) o_1(0)}}{\alpha_{12} + \beta_1}, \\ f_2 - \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23} + \beta_2} f_3 = \frac{\beta_2 - e^{-(\alpha_{23} + \beta_2) o_2(0)}}{\alpha_{23} + \beta_2}, \\ \dots, \\ f_i - \frac{\alpha_{i,i+1}}{\alpha_{i,i+1} + \beta_i} f_{i+1} = \frac{\beta_i - e^{-(\alpha_{i,i+1} + \beta_i) o_i(0)}}{\alpha_{i,i+1} + \beta_i}, \\ \dots, \\ f_{n-1} - \frac{\alpha_{n-1,n}}{\alpha_{n-1,n} + \beta_{n-1}} f_n = \frac{\beta_{n-1} - e^{-(\alpha_{n-1,n} + \beta_{n-1}) o_{n-1}(0)}}{\alpha_{n-1,n} + \beta_{n-1}}, \\ f_n = \frac{\beta_n - e^{-\beta_n o_n(0)}}{\beta_n}. \end{cases}$$

Вероятность нахождения работников в группе риска от 1 до n в произвольный момент времени t определим через (4) [6]:

$$P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_n) = P\left(t; \begin{matrix} r_1(t) = h_1, \dots, r_n(t) = h_n \\ r_1(0) = h_1^0, \dots, r_n(0) = h_n^0 \end{matrix} \right) = \frac{1}{h_1! h_2! \dots h_i! \dots h_n!} \frac{\partial^{h_1+h_2+\dots+h_n} \Phi(t; 0; 0; \dots; 0; \dots; 0)}{\partial f_1^{h_1} \partial f_2^{h_2} \dots \partial f_i^{h_i} \dots \partial f_n^{h_n}}. \quad (6)$$

Математическое ожидание случайной величины $r_i(t) = h_i$:

$$M(r_i(t)) = \frac{\partial \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Дисперсия случайной величины $\mu_i(t) = h_i$:

$$D(r(t)) = \frac{\partial^2 \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i^2} + \frac{\partial \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i} - \left(\frac{\partial \Phi(t; 1, 1, \dots, 1)}{\partial f_i} \right)^2, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Проведем анализ процесса, в ходе которого проводятся работы с взрывоопасными изделиями. Разделим штат персонала, занятого на работах, на три группы по степени риска возникновения ЧС в соответствии с графом распределения, приведенном на рисунке №1: первая группа – работники, редко нарушающие ПБЭВИ; вторая группа – работники, нарушения ПБЭВИ которыми не приводит к ЧС, то если их нарушения не носят тяжкий характер; третья группа – работники, нарушающие ПБЭВИ которые приводят к тяжелым последствиям, а сами нарушения носят грубый характер; в результате их действий возникает ЧС [9].

Аналитическое выражение для определения производящей функции принимает вид [6]:

$$\Phi(t; f_1, f_2, f_3) = \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12} + \beta_1} \left(\frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23} + \beta_2} \left(1 - \frac{1 - f_3}{e^{\beta_3 t}} + \frac{\beta_2 - (\beta_2 + \alpha_{23} f_3 - (\alpha_{23} + \beta_2) f_2)}{e^{(\alpha_{23} + \beta_2) t}} + \frac{\beta_1 - (\beta_1 + \alpha_{12} f_2 - (\alpha_{12} + \beta_1) f_1)}{e^{(\alpha_{12} + \beta_1) t}} \right) \right) \right]^{h_1^0} \times \quad (9)$$

$$\times \left[\frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23} + \beta_2} \left(1 - \frac{1 - f_3}{e^{\beta_3 t}} + \frac{\beta_2 - (\beta_2 + \alpha_{23} f_3 - (\alpha_{23} + \beta_2) f_2)}{e^{(\alpha_{23} + \beta_2) t}} \right) \right]^{m_2^0} \times \left[1 - \frac{1 - f_3}{e^{\beta_3 t}} \right]^{m_3^0}.$$

Из (6) и (9) определяем закон распределения случайных величин $\mu_1(t)=h_1, \mu_2(t)=h_2, \mu_3(t)=h_3$:

$$P(t; h_1, h_2, h_3) = \frac{h_1^0!}{h_1!h_2!h_3!(h_1^0-h_1-h_2-h_3)!} \cdot \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} \left(\frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} (1 - e^{-\beta_3 t}) + \frac{\beta_2}{\alpha_{23}+\beta_2} (1 - e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t}) \right) + \right. \\ \left. + \frac{\beta_1}{\alpha_{12}+\beta_1} (1 - e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}) \right]^{h_1^0-h_1-h_2-h_3} \cdot e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t} h_1 \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} (e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t} - e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}) \right]^{m_2} \times \\ \times \left[\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} \cdot \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} (e^{-\beta_3 t} - e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t}) \right]^{m_3}. \quad (10)$$

Из (7) и (9) определяем $r_1(t)=h_1, r_2(t)=h_2, r_3(t)=h_3$:

$$\begin{cases} M(r_1(t)) = h_1^0 e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}, \\ M(r_2(t)) = h_2^0 \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} (e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t} - e^{-(\alpha_{12}+\beta_1)t}), \\ M(r_3(t)) = h_3^0 \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}+\beta_1} \cdot \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} (e^{-\beta_3 t} - e^{-(\alpha_{23}+\beta_2)t}). \end{cases} \quad (11)$$

Из (8), (9) определяем дисперсию:

$$D(r_i(t)) = M(r_i(t)) - \frac{M^2(r_i(t))}{h_i^0}. \quad (12)$$

Математические ожидания при $t=t_{max}$ в группах 2 и 3 принимают вид:

$$\begin{cases} M(r_2(t_{max})) = \frac{\alpha_{12} h_1^0}{\alpha_{12}+\beta_1} \left(\frac{\alpha_{23}+\beta_2}{\alpha_{12}+\beta_1} \frac{\alpha_{23}+\beta_2}{\alpha_{23}+\beta_2 - \alpha_{12} - \beta_2} \right), \\ t_{max} = \frac{1}{\alpha_{12}+\beta_2 - \alpha_{12} - \beta_1} \ln \left(\frac{\alpha_{23}+\beta_2}{\alpha_{12}+\beta_1} \right), \\ M(r_3(t_{max})) = \frac{\alpha_{12} h_1^0}{\alpha_{12}+\beta_1} \frac{\alpha_{23}}{\alpha_{23}+\beta_2} \left(\frac{\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2} \right)^{\frac{\alpha_{23}+\beta_2 - \beta_3}{\alpha_{12}+\beta_1}} \left(1 - \frac{\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2} \right), \\ t_{max} = \frac{1}{\alpha_{23}+\beta_2 - \beta_3} \ln \left(\frac{\beta_3}{\alpha_{23}+\beta_2} \right), \\ \beta_3(\alpha_{23} + \beta_2(\alpha_{12} + \beta_1)). \end{cases} \quad (13)$$

3. Применение математической модели для прогнозирования ЧС. Можно разделить время за общий расчетный период математической модели на следующие этапы: «задание начальных условий и периода оценки рисков – контроль и коррекция процесса – фиксация результатов работы – коррекция процессов с учетом накопленных знаний»:

1. *Задание начальных условий и периода оценки рисков.* Математическая модель требует однозначного определения граничных (критических) значений рисков (вероятностей) возникновения ЧС на месте проведения работ с взрывоопасными изделиями в зависимости от числа работников, которые входят в группы риска 2 и 3.

2. *Контроль и коррекция процесса.* Математическая модель осуществляет контроль за процессами обращения с взрывоопасными изделиями за счет накопления статистических сведений.

3. *Фиксация результатов работы.* При помощи математической модели возможно зафиксировать интенсивности переходов $\alpha_{i,i+1}$ и β_i из решения уравнений (11), (13) или (12). Для оценки математического ожидания используется накапливаемый за время работы статистический материал. Качество статистического материала определяет точность возможной корректировки модели.

4. *Коррекция процессов с учетом накопленных знаний.* Математическая модель предсказывает возникновение ЧС на объекте работ с взрывоопасными изделиями, основываясь на законе распределения случайных величин (6). Полученные из модели интенсивности переходов $\alpha_{i,i+1}$ и β_i анализируются на предмет соответствия заданным критериям безопасности, при которых вероятность ЧС не должна превышать либо критических, либо некоторых наперед заданных запланированных значений. Корректировка происходит

до снижения вероятности ЧС до допустимых значений: критического или запланированного. Накопленные данные об изменении интенсивностей используются для дальнейшего управления процессом [6, 10].

Заключение. Предлагаемая математическая модель реализует управление безопасностью при выполнении работ с взрывоопасными изделиями на основе заданных критериев оптимальности. В качестве наглядного примера предложенной модели дано временное зонирование функционирования подсистемы «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда»: в период $0 \leq t \leq 0,4t$ наблюдается нестационарное управление (на объекте формируется штат обслуживающего персонала); при $t > 0,4t$ осуществляется стационарное управление (постоянный штат персонала, занятого на работах с изделиями).

Анализ работы математической модели позволяет сделать вывод о необходимости выявления всех нарушений техники безопасности, а сотрудники из числа обслуживающего персонала должны быть немедленно отстранены от выполнения должностных обязанностей за нарушение указанных правил [10, 26].

Таким образом, приведение системы в оптимальный режим безопасности возможно за счет корректировки участия работников разных групп, в процессе обращения с взрывоопасными изделиями, которая должна руководствоваться собранным статистическим материалом о ЧС за заданный период времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бондарь Е.В. Социальная экология: учебное пособие / Бондарь Е.В., Харин К.В. Ставрополь: СКФУ, 2017. 407 с.
2. Северцев Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: учебное пособие /Н.А. Северцев, В.К. Дедков. М.: Высшая школа, 2006. – С. 462.
3. Вершинин Н.Н. Проблемы техногенной безопасности. Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: Издательство ПГУ, 2003. С. 30-32.

4. Шахраманьян М.А., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной и техногенной безопасности России: теория и практика. М.: ФИД Деловой экспресс, 1998. 218 с.

5. Радаев Н.Н. Элементы теории риска потенциально опасных объектов. М.: РВСН, 2000. 323 с.

6. Плющ, А. А. Математическая модель прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объекте хранения боеприпасов при нарушении правил их эксплуатации обслуживающим персоналом // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2007. Т. 1. С. 234-237.

7. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 04.03.2013 № 22-ФЗ.

8. Курков, С.Н. Основы живучести потенциально опасных объектов. Монография. / С.Н. Курков, А.А. Плющ. – Пенза: ПАИИ, 2006. 248 с.

9. Владимиров В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. М.: Деловой экспресс, 2002. 183с.

10. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. М.: Высшая школа, 2000. 383 с.

11. Вершинин Н.Н. Безопасность как комплексный критерий оценки качества системы // Межвузовский сборник научных трудов. «Информационно-измерительная техника». Выпуск 28. Пенза: Издательство ПГУ. 2003. С. 17-19.

12. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 496 с.

13. Вершинин Н.Н. Определение показателей безопасности химически опасных объектов. //Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество-2003». Пенза: Издательство ПГУ, 2003. С. 411-412.

14. Вершинин Н. Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. // Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». Пенза: Издательство ПГУ, 2003. С. 412-414.

15. Авдонина, Л.А. Процессный подход к созданию информационных систем поддержки прогнозных решений по оценке уровня безопасности технических объектов. Монография. / Л.А. Авдонина, В.И. Волчихин, А.К. Тарасов, Е.В. Тихомирова. Пенза: Издательство ПГУ, 2012. 230 с.

16. Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. М.: Наука, 1971. 436 с.

17. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – М.: Наука, 1974. 120 с.

18. Пушина А.А. Оценка качества научного исследования. / А.А. Пушина, Е.В. Тихомирова // Вестник Тверского государственного технического университета. 2009. Выпуск 14. С. 35-40.

19. Вершинин Н.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на объектах специального назначения. //Сб. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество-2002». Пенза: Издательство ПГУ. 2002. С. 463-464.

20. Андреев Г.И., Тихомиров В.А. Научные основы теории систем и системного анализа // Материалы докладов семинара «Проблемные вопросы теории систем». Тверь: ВУ ПВО, 2000. С.287 - 295.

21. Боброва-Голикова, Л.П. Эргономика и безопасность труда. / Л.П. Боброва-Голикова, О.М. Мальцева и др. М.: Машиностроение, 1985.

22. Плющ А.А. Математическая модель оптимального управления безопасностью эксплуатации боеприпасов обслуживающим персоналом на объекте хранения. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2007. Т. 1. С. 50-52.

23. Курбатов В.И. Управление социальными рисками: учебно-методическое пособие дисциплины «Принципы построения управленческого решения». Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ. 2008. 80 с.

24. Авдонина Л.А. О принципах управления риском в обществе // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2009. Т. 2. С. 234-235.

25. Хасанова, Г.Б. Социальная экология: учебное пособие. М.: КноРус, 2016. 214 с.

26. Плющ, А. А. Оптимальное управление безопасностью на потенциально опасном объекте при эвакуации боеприпасов обслуживающим персоналом // Известия РАРАН. 2008. № 2(58). С. 68-72.

Статья поступила в редакцию 22.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 579.63

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0022

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАТОГЕННОСТИ МИКРОБА КАК НЕГАТИВНОГО ФАКТОРА
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА
КОСВЕННЫХ НАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ**

© 2022

Земскова Анастасия Романовна, магистрант

Липина Татьяна Олеговна, бакалавр

Кузьмин Антон Алексеевич, кандидат биологических наук,
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»Пензенский государственный технологический университет
(440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, д. 1а/11, kuzmin-puh@yandex.ru)

Аннотация. Работа посвящена оценке эффективности определения патогенности микроба на основе комплекса нативных признаков, не связанных напрямую с опасностью для здоровья человека (форма клеток, окраска по Грамму, оптимальные pH и температура, тип местообитания, подвижность), определяемых непосредственно в среде обитания микроорганизма (*in vivo*), с целью разработки методов анализа и прогноза профессиональной заболеваемости. Кластеризацию образцов проводили методом *Random Forest* без обучения. Качество модели оценивали с помощью *SVM*-алгоритма по показателям точности (общему проценту правильно классифицированных образцов) и чувствительности (способности модели правильно классифицировать патогенные образцы), рассчитываемым по матрице ошибок. Для определения перечня значимых для модели признаков построили пять моделей, последовательно исключая предикты с минимальным значением индекса чистоты. Наиболее точной оказалась классификационная модель №3 (точность – 78,21%, чувствительность – 69,23%), построенная на четырех предиктах – форма клеток, тип местообитания, оптимальные для жизни микроба pH и температуры. Наиболее чувствительной (и при этом наименее точной), а, следовательно, наиболее эффективной в определении патогенности микроба стала модель №4 (точность – 66,67%, чувствительность – 87,18%), включающая признаки типа местообитания и оптимумов pH и температуры.

Ключевые слова: патогенность, производственная среда, опасные и вредные факторы, профессиональная заболеваемость, микробы, бактерии, тип местообитания, оптимум, подвижность, форма клеток, окраска по Грамму, случайный лес, *SVM*-алгоритм, матрица ошибок, машинное обучение.

MICROBE'S PATHOGENICITY PREDICTION ON COMPLEX OF INDERECTIVE NATIVE FEATURES

© 2022

Zemskova Anastasiya Romanovna, master's student of Biotechnology and Technosphere Safety Department

Lipina Tatyana Olegovna, student of Biotechnology and Technosphere Safety Department

Kuzmin Anton Alekseevich, candidate of biological sciences,
associate professor of Biotechnology and Technosphere Safety DepartmentPenza state technological university
(Russia, 440039, Penza, Pr. Baidukova/Gagarina Street, 1a / 11, kuzmin-puh@yandex.ru)

Abstract. Article is devoted to quality evaluation of a microbe's pathogenicity detection on complex of native features directly not related with human health hazard (cell shape, Gram stain, pH and temperature optimums, habitat, motility), obtained *in vivo* for developing methods of occupational morbidity analysis and prediction. Samples clusterization was conducted using unsupervised *Random Forest* algorithm. Model quality was estimated with *SVM*-algorithm on parameters of Accuracy and Sensitivity (model's ability to classify pathogenic samples correctly) from confusion matrix. To reveal significant predicts five models were built consequentially excluding predicts with lowest Gini impurity. Most accurate model (#3, Accuracy – 78,21%, Sensitivity – 69,23%) were built on four predicts – cell shape, habitat, pH and temperature optimums. Most sensitive (wherein less accurate) and consequently most effective model (#4, Accuracy – 66,67%, Sensitivity – 87,18%) in a microbe's pathogenicity detection. This model built on three predicts – habitat, pH and temperature optimums.

Keywords: pathogenicity, work environment, dangerous and harmful factors, occupational morbidity, microbes, bacteria, habitat, optimum, motility, cell shape, Gram stain, Random Forest, *SVM*-algorithm, confusion matrix, machine learning.

Введение. Микрофлора, являясь неотъемлемой частью производственной среды, относится к биологическим ее факторам и влияет на состояние здоровья работника, обуславливая определенный уровень профессиональной заболеваемости. Поэтому разработка методов учета, анализа и прогноза патогенности представителей микрофлоры является актуальным

направлением развития охраны труда и безопасности деятельности человека.

Патогенность (от др.-греч. *πάθος* – страдание, болезнь и *γένεσις* – возникновение, первоисточник) – способность быть причиной (порождать) патологии (болезни, отклонения от нормы) – полидетерминантная, генотипическая характеристика определённого

микроорганизма или вируса, ответственная за создание специфических структур (например, капсула, экзотоксины) или отвечающая за поведение, нарушающее целостность тканей организма животных или человека. Патогенность характеризуется специфичностью, то есть способностью вызывать типичные для определённого возбудителя патофизиологические и морфологические изменения в определённых тканях и органах, при условии естественного для него способа заражения [1].

Для разработки адекватных мер обеспечения инфекционной безопасности микроорганизмы классифицируются в зависимости от степени их патогенности. Микробы, способные вызывать патологии у человека, классифицируются от условно-патогенных микроорганизмов до возбудителей особо опасных заболеваний [2].

Разделение на группы патогенности позволяет, кроме оценки рисков, создавать отдельные требования для каждой из групп по выделению чистой культуры, хранению и транспортировке материала, допуску и условиям работы с ним, а также по проведению других профилактических и противоэпидемических мероприятий, в том числе режимно-ограничительных, с целью недопущения заражения и распространения инфекций [3].

В соответствии с этим в России приняты санитарные правила, устанавливающие требования к организационным, санитарно-противоэпидемическим (профилактическим) мероприятиям, направленным на обеспечение личной и общественной безопасности, защиту окружающей среды при работе с патогенными биологическими агентами [4].

Патогенность микроба является не только важным параметром биологической безопасности среды обитания человека, но и лимитирует использование микроорганизма в качестве продуцента в промышленном производстве биологически активных веществ, а также в качестве объекта научных биотехнологических разработок.

По причине трудоёмкости методики [5] прямых исследований опасных для человека свойств микроба всегда сопряжены с риском утечки биоматериалов и потенциального инфицирования больших групп населения в краткие сроки [6]. Дополнительными негативными факторами заражения могут стать высокие темпы мутации [7], определяющие резистентность к имеющимся антидотам [8], а также сочетание факторов новой среды обитания, превращающих условно-патогенные микробы в патогенные [9, 10].

Патогенность микроорганизма нельзя рассматривать в отрыве от других его нативных биологических признаков и особенностей экологии [11]. Логично предположить, что способность вызывать заболевания человека может зависеть от биотопических предпочтений микроба, его подвижности, кислотности среды, температурного оптимума, особенностей цитоморфологии (форма клеток, окраска по Граму), т.е. признаков, не связанных с патогенностью напрямую.

Современные методы машинного обучения позволяют строить и обучать модели, способные прогнозировать те или иные свойства объектов на основе анализа имеющихся данных о выборке [12]. Развитие этого направления исследований позволит не только снизить риски прямых исследований опасных микробов, но и предсказывать их патогенность на основе комплекса нативных, доступных для сбора и объективных характеристик.

Цель работы – построить эффективную модель, прогнозирующую патогенность микроба по комплексу биоэкологических признаков.

Материал и результаты исследования. Материал работы получен при анализе особенностей биологии представителей микробиоты ($n = 78$) [13]. Патогенность микроба прогнозировалась на основе комплекса нативных признаков, напрямую не связанных с патогенностью, определяемых непосредственно в среде обитания организма (*in vivo*): морфологических (форма клеток и окраска по Граму) и экологических (оптимальные *pH* и температура, тип местообитания, подвижность). Кластеризацию образцов проводили методом *Random Forest* без обучения. Т.е. информация о патогенности образцов не входила в исходные данные модели [14]. Преимуществами алгоритма являются возможность анализировать как категориальные (качественные), так и числовые (количественные) признаки, а также «встроенная» в алгоритм кроссвалидация, при которой часть выборки, полученная случайным образом, используется для тренировки модели, а другая часть (*out of bootstrap*) – для проверки модели [15]. Значимость признака для классификации определяли с помощью индекса чистоты (*Gini impurity*) [16]. Качество полученной модели оценивали с помощью *SVM*-алгоритма [17], по общему проценту правильно классифицированных образцов [18], показателям чувствительности и специфичности [19], доле ложно-отрицательных образцов (реально патогенных образцов, ошибочно классифицированных моделью как непатогенные) и другим индексам, рассчитываемым по матрице ошибок [20-27]. Для определения перечня значимых для модели признаков, последовательно исключали предикты с минимальным значением индекса чистоты при контроле потери качества классификации. Структурирование данных проводили в программе *Microsoft Excel* [28], анализ и графическое представление результатов – с помощью языка программирования *R* [29], в среде программирования *RStudio* [30].

Модель №1 получена при классификации выборки по патогенности на основе шести предиктов. Выбор метода без обучения обусловлен отсутствием прямой связи между признаками микроорганизмов и их патогенностью. Точность классификации составила 74,36%, чувствительность (способность модели правильно классифицировать патогенные образцы) – 64,1%. По нашему мнению, последний показатель более уместен при выявлении опасности (или безопасности) микроба для здоровья человека

и информативен с точки зрения поставленной задачи исследования – выявления патогенности по нативным признакам, напрямую с ней не связанным.

Значения индексов чистоты предиктов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения индекса чистоты (Gini impurity index) предиктов классификационных моделей

Признак	Модель №1	Модель №2	Модель №3	Модель №4	Модель №5
Окраска по Граму	3.16	-	-	-	-
Тип местообитания	9.83	10.37	11.28	7.84	-
Подвижность	3.59	4.09	-	-	-
Форма клеток	6.57	7.05	7.09	-	-
Оптимум pH	19.32	21.75	24.96	17.82	28.68
Оптимальная температура	20.01	23.06	26.54	18.99	28.93

По значениям индекса чистоты предикты располагаются в следующей последовательности (по уменьшению значимости для качества классификации): оптимальная температура, оптимум pH (оба – числовые, количественные), тип местообитания, форма клеток, подвижность, окраска по Граму (все – категориальные, качественные).

Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности при многомерном шкалировании (*multi-dimensional scaling*, [31]) дистанций между образцами в матрице близости (*proximity matrix*) представлены на рисунке 1.

Модель №2 получена при классификации выборки по патогенности на основе пяти предиктов (за исключением окраски по Граму). Точность классификации составила 76,92%, чувствительность – 69,23%, что превышает аналогичные показатели модели №1. Следовательно, окраска по Граму не является существен-

но значимым предиктом классификации.

Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности представлены на рисунке 2.

Модель №3 получена при классификации выборки по патогенности на основе четырех предиктов (за исключением окраски по Граму и подвижности). Точность классификации составила 78,21 %, чувствительность – 69,23 %. Следовательно, подвижность не является существенно значимым предиктом при выявлении патогенного микроорганизма.

Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности представлены на рисунке 3.

Модель №4 получена при классификации выборки по патогенности на основе трех предиктов (за исключением окраски по Граму, подвижности и формы клеток). Точность классификации составила 66,67%, чувствительность – 87,18%. Следовательно, форма клеток является существенно значимым предиктом при классификации микроба и не существенна при определении патогенности последнего, т.к. снижает чувствительность модели.

Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности представлены на рисунке 4.

Модель №5 получена при классификации выборки по патогенности на основе двух предиктов (оптимальных для роста значений pH и температуры). Точность классификации составила 69,23%, чувствительность – 53,85%. Следовательно, тип местообитания является существенно значимым предиктом при классификации микроба и определении патогенности последнего.

Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности представлены на рисунке 5.

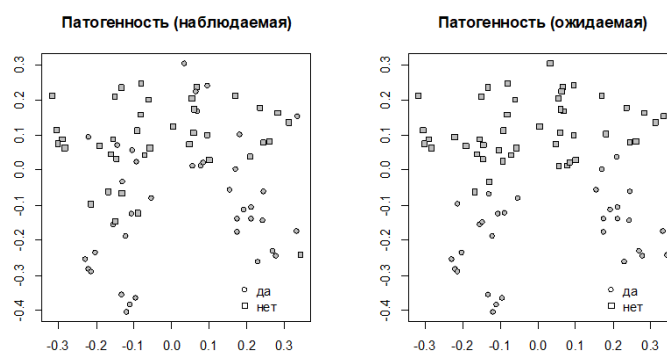


Рисунок 1 – Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности образцов микроорганизмов (модель №1 – 6 предиктов)

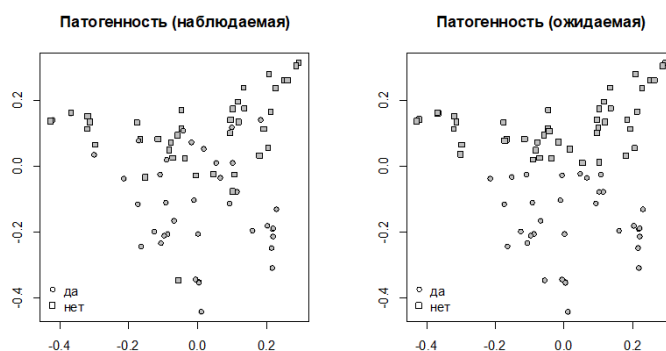


Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности образцов микроорганизмов (модель №2 – 5 предиктов за исключением окраски по Граму)

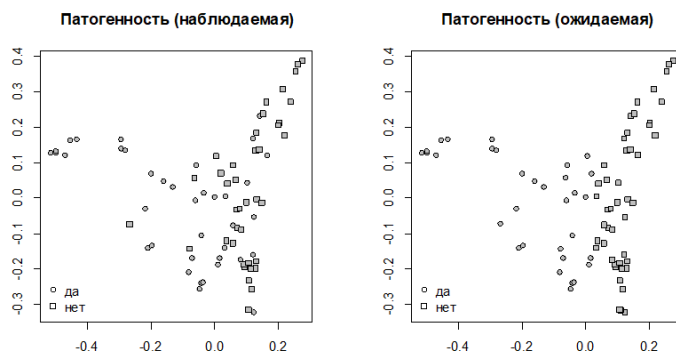


Рисунок 3 – Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности образцов микроорганизмов (модель №3 – 4 предиктов за исключением окраски по Граму и подвижности клеток)

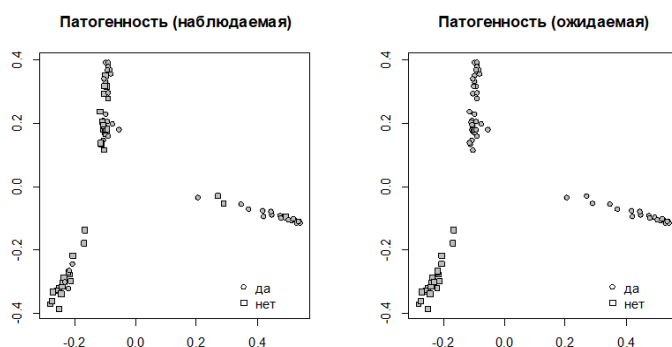


Рисунок 4 – Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности образцов микроорганизмов (модель №4 – 3 предикта за исключением окраски по Граму, подвижности и формы клеток)

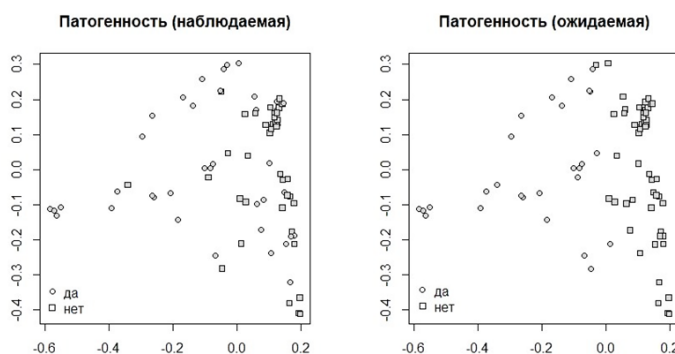


Рисунок 5 – Диаграммы рассеяния наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности образцов микроорганизмов (модель №5 – 2 предикта – оптимальные для роста значений pH и температуры)

Совокупность индексов, рассчитанных с помощью матриц ошибок, полученных при сопоставлении наблюдаемых (исходно данных) и ожидаемых (полученных в результате работы SVM-алгоритма) значений патогенности (табл. 2), позволяет провести дополнительную оценку качества той или иной модели в классификации микробов на опасные (патогенные) и безопасные (непатогенные) для здоровья человека. В частности, модель №3 (четыре предикта) наиболее точна в определении непатогенных (безопасных) микробов.

Таблица 2 – Совокупность индексов, рассчитанных с помощью матриц ошибок, полученных при сопоставлении наблюдаемых и ожидаемых значений патогенности

Index	Модель №1	Модель №2	Модель №3	Модель №4	Модель №5
Prevalence	50	50	50	50	50
Accuracy	74.36	76.92	78.21	66.67	69.23
PPV	80.65	81.82	84.38	61.82	77.78
FDR	19.35	18.18	15.62	38.18	22.22
FOR	29.79	26.67	26.09	21.74	35.29
NPV	70.21	73.33	73.91	78.26	64.71
F1score	0.7114	0.75	0.76	0.72	0.64
Sensitivity	64.1	69.23	69.23	87.18	53.85
FNR	35.9	30.77	30.77	12.82	46.15
Fall-out	15.38	15.38	12.82	53.85	15.38
Specificity	84.62	84.62	87.18	46.15	84.62
LR+	4.17	4.50	5.40	1.62	3.50
LR-	0.42	0.36	0.35	0.28	0.55
DOR	9.82	12.38	15.30	5.83	6.42

Заклучение. Таким образом, в результате проведенных исследований получены модели, позволяющие прогнозировать опасность того или иного микроорганизма для здоровья работника, предсказывать патогенность микроба как потенциально вредного биологического фактора производственной среды. Наиболее точной оказалась классификационная модель №3, построенная на четырех предиктах – форма клеток, тип местообитания, оптимальные для жизни микроба рН и температура. В то время как наиболее чувствительной (при этом, наименее точной), а, следовательно, наиболее эффективной в определении патогенности (опасности) микроба стала модель №4, включающая признаки типа местообитания и оптимумов рН и температуры, достаточные для выполнения поставленной задачи исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Л.Б. Борисов. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология. — МИА, 2005. — С. 191. — ISBN 5-89481-278-X.
2. Ширококов В. П. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология / Перевод: Андрианова Т. В. и др. // Винница: Нова Книга. — 2015. — 856 с. ISBN 978-966-382-200-6. (С. 296).
3. Донецкая Э. Г.-А. Клиническая микробиология: руководство // М.: ГЭОТАР-Медиа. — 2011. — 480 с. ISBN 978-5-9704-1830-7. (С. 21-27).
4. Г. Г. Онищенко. Санитарно-эпидемиологические правила СП 1.3.2322-08. — Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти от 12.05.2008 г. № 19, 2008. — С. 20-34.
5. Санитарно-эпидемиологические правила СП 1.3.3118-13 «Безопасность работы с микроорганизмами I — II групп патогенности (опасности)» / Приложение 3 // М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. — 2014. — 195 с. ISBN 978-5-7508-1342-1. (С. 111-125).
6. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов / С.В.Белов, А.В.Ильницкая, А.Ф.Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В.Белова. 2-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 1999. -448 с/
7. BR Levin, V Perrot, Nina Walker. Compensatory Mutations, Antibiotic Resistance and the Population Genetics of Adaptive Evolution in Bacteria. Genetics March 1, 2000 vol. 154 no. 3 985—997.
8. Cassir, N; Rolain, JM; Brouqui, P. A new strategy to fight antimicrobial resistance: the revival of old antibiotics (англ.) // Frontiers in microbiology journal. — 2014. — Vol. 5. — P. 551. — doi:10.3389/fmicb.2014.00551. — PMID 25368610.
9. Levy, Stuart B. Factors impacting on the problem of antibiotic resistance (англ.) // Journal of Antimicrobial Chemotherapy (англ.)рус. : journal. — 2002. — 1 January (vol. 49, no. 1). — P. 25—30. — ISSN 0305-7453. — doi:10.1093/jac/49.1.25. — PMID 11751763.
10. Martinez, J. L., & Olivares, J. (2012). Environmental Pollution By Antibiotic Resistance Genes. In P. L. Keen, & M. H. Montforts, Antimicrobial Resistance in the Environment (pp. 151—171). Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons.
11. Teale, F.H. (1933), Factors influencing the pathogenicity of bacteria. J. Pathol., 37: 185-232. <https://doi.org/10.1002/path.1700370204>.
12. Mitchell, Tom (1997). Machine Learning. New York: McGraw Hill. ISBN 0-07-042807-7. OCLC 36417892.
13. Kim, Seung & Goodfellow, Michael. (2015). Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. 10.1002/9781118960608.gbm00186.
14. Breiman, L. (2001), Random Forests, Machine Learning 45(1), 5-32.
15. Breiman, L (2002), “Manual On Setting Up, Using, And Understanding Random Forests V3.1”
16. Breiman L. et al. (1984). Classification and Regression Trees. CRC Press, Boca Raton.
17. Chih-Chung Chang and Chih-Jen Lin, LIBSVM: a library for support vector machines. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2:27:1–27:27, 2011. Software available at <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
18. Stehman, Stephen V. (1997). "Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy". Remote Sensing of Environment. 62 (1): 77–89. Bibcode:1997RSEnv.62...77S. doi:10.1016/S0034-4257(97)00083-7.
19. Yerushalmy J (1947). "Statistical problems in assessing methods of medical diagnosis with special reference to x-ray techniques". Public Health Reports. 62 (2): 1432–39. doi:10.2307/4586294. JSTOR 4586294. PMID 20340527.
20. Fawcett, Tom (2006). "An Introduction to ROC Analysis" (PDF). Pattern Recognition Letters. 27 (8): 861–874. doi:10.1016/j.patrec.2005.10.010.
21. Piryonesi S. Madeh; El-Diraby Tamer E. (2020-03-01). "Data Analytics in Asset Management: Cost-Effective Prediction of the Pavement Condition Index". Journal of Infrastructure Systems. 26 (1): 04019036. doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000512.
22. Powers, David M. W. (2011). "Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation". Journal of Machine Learning Technologies. 2 (1): 37–63.
23. Ting, Kai Ming (2011). Sammut, Claude; Webb, Geoffrey I. (eds.). Encyclopedia of machine learning. Springer. doi:10.1007/978-0-387-30164-8. ISBN 978-0-387-30164-8.
24. Brooks, Harold; Brown, Barb; Ebert, Beth; Ferro, Chris; Jolliffe, Ian; Koh, Tieh-Yong; Roebber, Paul; Stephenson, David (2015-01-26). "WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research". Collaboration for Australian Weather and Climate Research. World Meteorological Organisation. Retrieved 2019-07-17.
25. Chicco D, Jurman G (January 2020). "The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation". BMC Genomics. 21 (1): 6-1–6-13. doi:10.1186/s12864-019-6413-7. PMC 6941312. PMID 31898477.
26. Chicco D, Toetsch N, Jurman G (February 2021). "The Matthews correlation coefficient (MCC) is more reliable than balanced accuracy, bookmaker informedness, and markedness in two-class confusion matrix evaluation". BioData Mining. 14 (13): 1-22. doi:10.1186/s13040-021-00244-z. PMC 7863449. PMID 33541410.
27. Tharwat A. (August 2018). "Classification assessment methods". Applied Computing and Informatics. doi:10.1016/j.aci.2018.08.003
28. Microsoft Corporation, 2018. Microsoft Excel, Available at: <https://office.microsoft.com/excel>.
29. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
30. RStudio Team (2019). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
31. Gower, J. C. (1966). Some distance properties of latent root and vector methods used in multivariate analysis. Biometrika, 53, 325-328. 10.2307/2333639.

Статья поступила в редакцию 14.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 504.05

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0023

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА НА РЕЗУЛЬТАТЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ МЕТОДОМ БИОИНДИКАЦИИ В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**
© 2022

Новоселова Елена Александровна, руководитель проекта

АО НДЦ НПФ «Русская лаборатория»

(197229, Россия, г. Санкт-Петербург, тер. Ольгино, ул. Вокзальная, д. 2, корп. 3, стр. 1,

e-mail: novoselova-1989@mail.ru)

Аннотация. В связи с появлением и широким применением диодных ламп возникла проблема ртутного загрязнения из-за бесконтрольной утилизации люминесцентных ламп и отсутствия специализированных учреждений по их уничтожению. Техногенные аварийные ситуации и инцидента на объектах газодобывающих предприятий, связанные с разгерметизацией оборудования для улавливания ртути из газа, также являются причиной значительной доли ртутного загрязнения. На основании этого разработан метод биоиндикации для количественного определения ртути в окружающей среде, основанный на изучении всхожести и количества проросших семян овса. Эффективность метода в реальных условиях зависит от многих факторов, в частности от разнообразия и изменчивости внешних факторов, воздействующих на экосистему. В связи с этим было исследовано влияние приложенного переменного потенциала на прорастание семян под действием токсина - ртути. В статье представлены результаты экспериментов при использовании алюминиевого и нихромового электрода, а также приведены результаты расчетов напряженности электрического поля, снятые с прибора «МАГ».

Ключевые слова: ртуть, хлорид ртути (II), хлорид натрия, аварийная ситуация, газ, люминесцентные лампы, овес, переменный потенциал, напряженность поля, алюминиевый электрод, нихромовый электрод.

**INFLUENCE OF VARIABLE POTENTIAL ON THE RESULTS OF QUANTITATIVE DETERMINATION
OF MERCURY BY BIOINDICATION IN EMERGENCY SITUATIONS**

© 2022

Novoselova Elena Alexandrovna, project manager

RUSSIAN LABORATORI Ltd.

(197229, Russia, St. Petersburg, ter. Olgino, st. Vokzalnaya, 2, bldg. 3, bldg. 1, e-mail: novoselova-1989@mail.ru)

Abstract. In connection with the emergence and widespread use of diode lamps, the problem of mercury pollution arose due to the uncontrolled disposal of fluorescent lamps and the lack of specialized institutions for their destruction. Technogenic emergencies and incidents at gas production facilities associated with depressurization of equipment for capturing mercury from gas are also the cause of a significant proportion of mercury pollution. Based on this, a bioindication method was developed for the quantitative determination of mercury in the environment, based on the study of the germination and the number of germinated oat seeds. The effectiveness of the method in real conditions depends on many factors, in particular, on the diversity and variability of external factors affecting the ecosystem. In this regard, the effect of the applied variable potential on seed germination under the action of a toxin, mercury, was studied. The article presents the results of experiments using an aluminum and nichrome electrode, as well as the results of calculations of the electric field strength taken from the MAG device.

Keywords: mercury, mercury chloride (II), sodium chloride, emergency, gas, fluorescent lamps, oats, variable potential, field strength, aluminum electrode, nichrome electrode.

Введение. Одной из основных проблем на сегодняшний день является бесконтрольное поступление ртути и ее соединений в окружающую среду.

На сегодняшний день активная замена ламп накаливания и люминесцентных ламп на светодиодные энергосберегающие лампы влечет за собой различной степени загрязнения почвы и сточных вод при выбрасывании ламп на свалки, а отсутствие надежных систем и учреждений по утилизации ламп, содержащих ртуть, еще больше усугубляет ситуацию загрязнения окружающей среды ртутью. Аварийные ситуации на объектах газодобывающей промышленности, влекущие разгерметизацию абсорберов ртути, также ведут к загрязнению окружающей среды ртутью.

Основными источниками загрязнения ртутью являются неправильная утилизация энергосберегающих ртутьсодержащих источников света, а также аварий-

ные ситуации на предприятиях добычи газа, сопровождающиеся разгерметизацией адсорберов ртути.

Также, в литературе приводится количество ртути в добываемом газе различных месторождений: $5 \times 10^{-8} - 1,4 \times 10^{-5}$ г/м³ [1-3]. Удаление ртути из добываемого газа происходит за счет адсорберов ртути [4-7], исходя из этого в качестве потенциального источника химической опасности также необходимо рассматривать аварийные ситуации на объектах газодобывающей промышленности, связанные с разгерметизацией оборудования.

Для оценки загрязнения окружающей среды ртутью ранее разработан метод биоиндикации, основанный на исследовании скорости прорастания и количества всхожих семян овса [8-11]. Овес в данном случае выступает не только как биоиндикатор изменения состояния всей биоты, но и как биологиче-

ский рекультивант, способствующий более быстрому разложению токсиканта. В этой связи представляет интерес количественная оценка воспроизводимости лабораторных экспериментов в условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций при разливах ртути.

Целью работы является экспериментальное исследование влияния переменного потенциала от прибора «МАГ» на всхожесть семян овса в присутствии токсиканта – соединений ртути.

Материалы и результаты исследования. Разработанный метод биоиндикации предполагает использование следующих сред для проращивания овса:

1. Вода как тестовый образец;
2. Водные растворы хлорида ртути концентрациями 2,5 г/л; 0,25 г/л; 0,025 г/л;
3. Водные растворы хлорида натрия концентрациями 0,764 г/л; 0,076 г/л; 0,007 г/л.

Эксперименты проводились без участия почвы, чтобы исключить влияние факторов экосистемы. Также, было исследовано влияние температурных условий на всхожесть семян и скорость прорастания семян овса на фильтровальной бумаге с заданной концентрацией токсиканта [12].

При подготовке к эксперименту, связанному с подведением переменного потенциала к проращиваемым семенам, представлялось необходимым проверить влияние металла электрода – алюминиевой фольги на конечные результаты. Проведен эксперимент, в котором был добавлен небольшой кусочек фольги, располагающийся под фильтровальной бумагой с семенами овса, пропитанной токсикантом.

Исследование проращивания семян овса проводилось:

- а) без добавления токсиканта;
- б) с добавлением хлорида ртути (II);
- в) с добавлением хлорида натрия.

Результаты эксперимента показали, что фольга повлияла на долю прорастания семян (табл. 1) - всхожесть семян снизилась. Следовательно, можно сделать вывод, что фольга вступает в реакцию с токсикантом и уже продукты этой реакции влияют на прорастание семян.

Таблица 1 – Доля проросших семян с добавлением фольги

№ п/п	Наименование вещества	С добавлением фольги	Без добавления фольги
1	Вода (тестовый образец)	17	17
2	Раствор хлорида ртути (II), C=2,5 г/л	0	0
3	Раствор хлорида ртути (II), C=0,25 г/л	0	7
4	Раствор хлорида ртути (II), C=0,025 г/л	5	20
5	Раствор хлорида натрия, C=0,764 г/л	7	33
6	Раствор хлорида натрия, C=0,0764 г/л	32	30
7	Раствор хлорида натрия, C=0,00764 г/л	5	23

Так же при снятии результатов было обнаружено, что в пробах с хлоридом ртути (II) концентрацией C=2,5 г/л фольга разложилась (рис. 1).

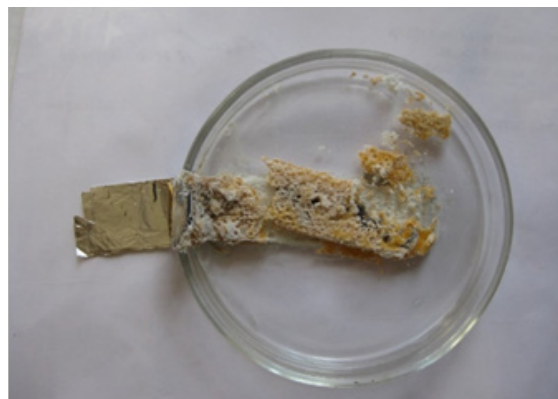


Рисунок 1 – Результат воздействия токсиканта-HgCl₂ при концентрации 2,5 г/л на алюминиевый электрод (фольга 0,15 мм) (слой фильтровальной бумаги, на котором лежали семена удален с электрода перед фотографированием)

При разбавленной форме хлорида ртути (II) концентрацией C=0,025 г/л наблюдается меньшее разложение фольги (рис. 2).



Рисунок 2 – Результат воздействия токсиканта-HgCl₂ при концентрации 0,025 г/л на алюминиевый электрод (фольга 0,15 мм) (слой фильтровальной бумаги, на котором лежали семена удален с электрода перед фотографированием)

При проведении экспериментов с использованием растворов токсиканта хлорида натрия, фольга не разложилась (рис. 3).

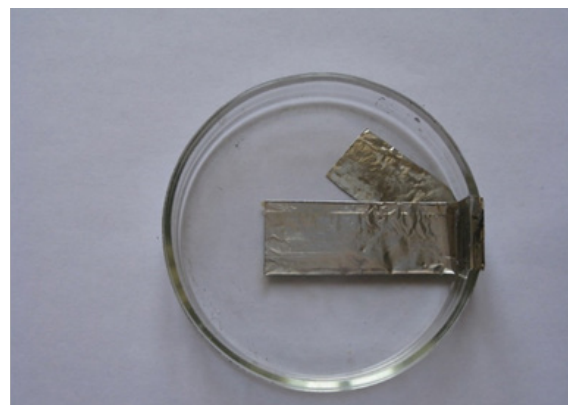


Рисунок 3 – Результат воздействия токсиканта-NaCl при концентрации 0,764 г/л на алюминиевый электрод (фольга 0,15 мм) (слой фильтровальной бумаги, на котором лежали семена удален с электрода перед фотографированием)

На основе полученных результатов – разложения фольги проведен дополнительный эксперимент с применением фольги, являющейся проводником электрического поля и подключенной к прибору «МАГ» [13-16]. Результаты опыта приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты эксперимента с подключением прибора «МАГ»

№ п/п	Наименование вещества	С потенциалом 110В	Без потенциала
1	Вода (тестовый образец)	0	23
2	Раствор хлорида ртути (II), C=2,5 г/л	0	0
3	Раствор хлорида ртути (II), C=0,25 г/л	0	7
4	Раствор хлорида ртути (II), C=0,025 г/л	0	3
5	Раствор хлорида натрия, C=0,764 г/л	0	37
6	Раствор хлорида натрия, C=0,0764 г/л	0	7
7	Раствор хлорида натрия, C=0,00764 г/л	1	7

Из таблицы 2 видно, что при подведении потенциала к пробам ни одно семя овса не взошло. Следовательно, переменный потенциал от прибора «МАГ» ухудшает прорастание семян. Этот метод инженерного воздействия в случае загрязнения ртутью не повышает толерантности биоиндикатора к токсическому действию катиона ртути.

После проведенных экспериментов с добавлением фольги, проведен опыт с добавлением никромовой проволоки, не подверженной коррозии при подключении прибора «МАГ». Для проведения эксперимента были подготовлены две партии одинаковых образцов: одни образцы подключались к прибору «МАГ», а другие заматывались в фольгу, для того что бы на них не попадал ток. Эти образцы были помещены в термостат при температуре плюс 23°C и оставлены там на трое суток. На третьи сутки были получены следующие

данные – см. таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты эксперимента с никромовыми электродами при подключении ПЧМС от прибора «МАГ»

№ п/п	Наименование вещества	С потенциалом 110В	Без потенциала
1	Вода (тестовый образец)	13	37
2	Раствор хлорида ртути (II), C=2,5 г/л	0	0
3	Раствор хлорида ртути (II), C=0,025 г/л	13	13
4	Раствор хлорида натрия, C=0,764 г/л	10	20
5	Раствор хлорида натрия, C=0,00764 г/л	10	23

Из таблицы 3 видно, что под воздействием потенциала прорастание семян ухудшается. При этом можно детализовать следующие моменты:

- в контрольном образце всхожесть на третьи сутки снижается почти в 3 раза;
- в присутствии хлорида натрия переменный частотно-модулированный потенциал снижает всхожесть, как и в контрольном образце;
- в присутствии хлорида ртути снижения всхожести не наблюдается.

Таким образом, полезное влияние переменного частотно-модулированного потенциала проявилось только при наличии сопутствующего токсиканта [17-20].

В рамках определения измерения параметров электрофизического воздействия на прорастания семян контролировалось два параметра:

- величина потенциала подаваемого на объект, В;
- величина напряженности электрического поля, В/м.

Замеры производились на расстоянии 10 см от объекта (условно выбранная точка). Замеры выполнялись в соответствии со схемами, изображенными на рисунке 4.

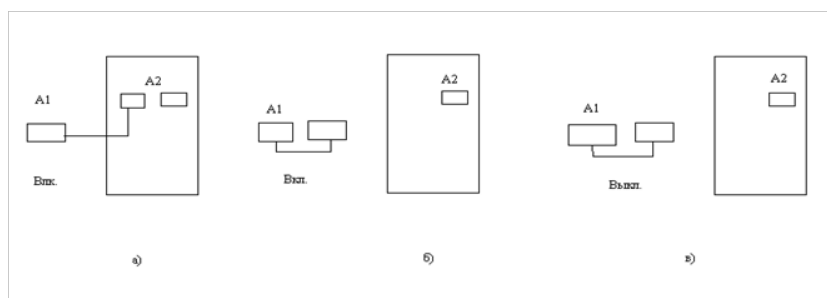


Рисунок 4 – Варианты подключения приборов для замеров

На рисунке 4 представлены:

а) прибор «МАГ», подключенный в сеть, дает на выходном электроде и на блоке кювет в термостате - потенциал 110 В. Контрольная группа кювет завернута в экранирующую потенциал фольгу, на поверхности которой замеряется потенциал $V=55$ В;

б) прибор «МАГ» (A1, $V=110$ В) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к прибору «МАГ»;

в) выключенный прибор «МАГ» (A1) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к

прибору «МАГ».

Напряженность электрического поля измерялась прибором ИЭП – 05, снабженным дипольной (векторной) антенной для измерения напряженности поля в трех мерном пространстве. Поскольку использовались биологические объекты исследования, они не имели видимых признаков направленного излучения (подавали на них поля), использование дискового пробника было проблематично.

При определении величины напряженности поля в трехмерном пространстве, замеры U производят-

ся при трех ориентационной антенны по x , y , z осям, нулевая точка которых выбиралась экспериментатором произвольно. В данном случае было принято следующее: ось x – «от окна внутрь помещения», ось y перпендикулярно оси x , ось z – вертикальная ось. Внутри камеры термостата дипольная антенна могла располагаться только по двум осям. По этой причине в помещении лаборатории, замеры выбранной точки проводятся по трем осям, а расчеты проводятся как по трем осям, так и по двум, измерения по которым мог-

ли быть выполнены и в камере термостата.

Для определения расчетов напряженности поля по трем осям, использовалась формула:

$$U = x^2 + y^2 + z^2.$$

Для определения напряженности поля по двум осям использовалась формула:

$U = x^2 + y^2$, где x – ось «от окна внутрь помещения»; y – ось перпендикулярная оси x ; z – вертикальная ось.

Результаты замеров приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов напряженности электрического поля при контрольных замерах

Напряженность U , В/м	Значения, снятые с прибора «МАГ»	Значения, снятые с пробника не подключенного к прибору «МАГ»
Прибор «МАГ», подключенный в сеть дает на выходном электроде и на блоке кювет в термостате - потенциал 110 В. Контрольная группа кювет завернута в экранирующую потенциал фольгу, на поверхности которой замеряется потенциал $V = 55$ В		
	$x=12$; $y=94$; $z=80$	$x=30$; $y=46$; $z=8$
Напряженность поля по трем осям U , В/м	24	55
Напряженность поля по двум осям U , В/м	94	54
Прибор «МАГ» ($V = 110$ В.) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к прибору «МАГ»		
	$x=52$; $y=101$; $z=94$	$x=8$; $y=46$; $z=26$
Напряженность поля по трем осям U , В/м	147	53
Напряженность поля по двум осям U , В/м	113	46
Выключенный прибор «МАГ» (A_1) и термостат, в котором находится одна проба, не подключенная к прибору «МАГ»		
	$x=24$; $y=29$; $z=72$	$x=14$; $y=19$; $z=33$
Напряженность поля по трем осям U , В/м	81	40
Напряженность поля по двум осям U , В/м	37	23

Данные таблицы показывают, что контрольные образцы и образцы, подвергнутые воздействию переменного частотно-модулированного потенциала, отличаются по величине измеряемого на них потенциала.

Заключение. По результатам проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- алюминиевая фольга разлагается в присутствии токсиканта – раствора хлорида ртути, при снижении концентрации токсиканта степень разложения фольги снижается; при добавлении фольги всхожесть семян снижается в пробах с токсикантом из-за влияния продуктов реакции токсиканта с фольгой;

- при проведении экспериментов с использованием растворов токсиканта хлорида натрия, фольга не разложилась;

- переменный потенциал от прибора «МАГ» ухудшает прорастание семян, данный метод не повышает толерантности биоиндикатора к токсическому действию катиона ртути;

- контрольные образцы и образцы, подвергнутые воздействию переменного частотно-модулированного потенциала, отличаются по величине измеряемого на них потенциала.

Таким образом, полученные результаты в ходе данного исследования могут быть использованы для дальнейшего изучения свойств агрокультур с целью поиска оптимального вида для применения его в качестве биоиндикатора и рекультиванта при авариях, связанных с разливами ртути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новоселова Е.А. Методика демеркуризации хлорсодержащими рецептурами объектов нефтегазового комплекса в условиях Крайнего Севера: дис. канд. техн. наук: 05.26.02. - С.-Петербург. гос. ун-т ГПС МЧС России, СПб, 2017. 232 с.

2. Новоселова Е.А., Ефремов С.В., Колесников С.В. Особенности контроля поверхностей, загрязненных металлической ртутью // Научно-практический и учебно-методический журнал «Безопасность жизнедеятельности». 2015. № 4. С. 80-84.

3. Ivakhnyuk G.K., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T., Basharichev A.V. Investigation of heat flux intensity during composting of organic wastes // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 548:022021 DOI: 10.1088/1755-1315/548/2/022021. 2020

4. Гумерский Х. Х., Мамедов Ю. Б. Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего. // Нефтяное хозяйство, – 2000. – № 7. – С. 22-26.

5. Новоселова Е.А., Ивахнюк Г.К. Выбор коррозионно-стойких сталей и сплавов на основе железа для предотвращения чрезвычайных ситуаций, вызванных коррозией нефтепроводов // Техносферная безопасность. 2021. № (31). С. 11-21.

6. Шаталов А. А., Селезнев Г.М. Обеспечение требований промышленной безопасности при ремонтах и модернизации оборудования // Химическая техника, 2015. – № 1. – С. 8-12

7. Аверичева Г.А., Черкасова Т.Г. Обеспечение эксплуатационной надежности промышленных сооружений при выполнении антикоррозионной защиты в условиях Кузбасского региона // Вестник Кузбасского гос. техн. университета: научно-технический журнал, – 2012. – № 6. – С. 65-67.

8. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. М.: Мир. 1988. 348 с.

9. Большаков В. А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. М.: Наука. 1978. – 52 с.

10. Chalovskaya E.K., Klochihin I.O. and Kaverzneva T.T. Algorithm of Assessing Working Conditions at Waste Processing Plants, 2018 IEEE International Conference "Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development" (WASTE), 2018, pp. 55-57, doi: 10.1109/WASTE.2018.8554133

11. Ivanov A.V. et al. Nanostructures management technology to reduce the fire risk in the oil and gas industry: Performance, features and implementation //Journal of Applied Engineering Science. – 2021. – Т. 19. – №. 1. – С. 84-91

12. Novoselova E.A., Skripnik I.L., Voronin S.V. Development of environment mercury contamination bioindication at emergency mitigation // I international conference ASE-I - 2021: applied science and engineering: ASE-I - 2021 DOI: 10.1063/5.0075465

13. Новоселова Е.А., Иванов А.В., Колесников С.В. Аппаратурно-методическое обеспечение процессов демеркури-

зации объектов чрезвычайных ситуаций в условиях Крайнего Севера // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета противопожарной службы МЧС России», 2016. – № 2. – С. 16-20.

14. Соколовских Ю.М. Магнитная обработка веществ в химической промышленности // Химическая промышленность, 2010. – №7. – С. 64–67

15. Иванов А.В., Анашечкин А.Д., Хорошилов О.А. Перспективный метод нейтрализации статического электричества // Вестник СПб института ГПС МЧС России, 2005. – №2 (9). – С. 29-33.

16. Зайцев В.А., Каменир Э.А. Влияние электрического поля на скорость испарения жидкости // Вестник Челябинского аграрного университета, 1998. – № 25. – С. 140–142.

17. Аюпян С.Н. Исследования удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний // Биофизика. – 2005. – С. 265-269.

18. Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды // Вестник Томского государственного университета, 2006. – № 62. – С. 43-51.

19. Буковский М.И., Муравьева С.И., Прохорова Е.К. Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны. М.: Химия, 1991. – 368 с.

20. Шипунов Б.П. Температурная зависимость эффективности воздействия высокочастотного электромагнитного поля на дистиллированную воду // Вестник Томского государственного университета, 2006. – № 62. – С. 52-61.

Статья поступила в редакцию 16.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 614.841.343:539.097

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0024

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ

© 2022

Михайлова Валерия Игоревна, аспирант*Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**(196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 149, e-mail: gidralera@rambler.ru)*

Аннотация. Анализ пожаров на объектах хранения нефтепродуктов за последнее десятилетие показывает, что наиболее опасными чрезвычайными ситуациями в резервуарных парках являются каскадные аварии, при которых пожар по средством лучистого и конвективного теплообмена переходит от горящего резервуара к соседнему и может охватить всю резервуарную группу. Данный сценарий является наихудшим вариантом развития аварии в резервуарном парке, сопровождается человеческими жертвами и огромным материальным ущербом. Для предотвращения каскадного распространения аварии необходимо осуществлять охлаждение соседних с горящим резервуаров, которое стандартно реализуется при помощи стационарных установок охлаждения, представляющих из себя кольцевой трубопровод, расположенный в верхнем поясе резервуара. На сегодняшний день основным тепловым агентом в стационарных системах охлаждения является вода. В статье изложены результаты экспериментальных исследований и моделирования систем орошения резервуаров для хранения нефтепродуктов с использованием модифицированных водногелевых составов, применяемых в качестве теплового агента. Предложены типовые проектные решения систем тепловой защиты с применением современного насосного оборудования для подачи теплового агента в систему охлаждения. Даны рекомендации по подбору насосных систем для реализации проектных решений по внедрению инновационного метода в практику применения.

Ключевые слова: гидрогели, установки охлаждения, электрофизическая модификация, тепловая защита, переменный частотно-модулированный потенциал, углеводородный пожар.

IMPLEMENTATION OF THERMAL PROTECTION SYSTEMS OF A TANK FARM FOR STORING PETROLEUM PRODUCTS BASED ON MODIFIED HYDROGEL COMPOSITIONS

© 2022

Mikhailova Valeria Igorevna, postgraduate student*Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**(196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149, e-mail: gidralera@rambler.ru)*

Abstract. An analysis of fires at oil products storage facilities over the past decade shows that the most dangerous emergencies in tank farms are cascade accidents, in which a fire, by means of radiant and convective heat transfer, passes from a burning tank to a neighboring one and can cover the entire tank group. This scenario is the worst scenario for the development of an accident in a tank farm, accompanied by human casualties and huge material damage. To prevent the cascade propagation of an accident, it is necessary to cool the tanks adjacent to the burning one, which is usually implemented using stationary cooling installations, which are an annular pipeline located in the upper belt of the tank. To date, the main heat agent in stationary cooling systems is water. The article presents the results of experimental studies and modeling of irrigation systems for storage tanks for petroleum products using modified water-gel compositions used as a heat agent. Typical design solutions for thermal protection systems with the use of modern pumping equipment for supplying a heat agent to the cooling system are proposed. Recommendations are given on the selection of pumping systems for the implementation of design solutions for the implementation of an innovative method in the practice of application.

Keywords: hydrogel, thermal protection systems, electrophysical modification, thermal protection, variable frequency modulated potential, jet fire.

Введение. По данным статистики объемы добычи нефти и производства нефтепродуктов, как в мире в целом, так и в России в частности, увеличивается с каждым годом. Прирост ежегодной добычи нефти в России составляет по данным Росстата порядка 4% [1], что в свою очередь приводит к росту числа объектов хранения нефтепродуктов и увеличению объемов резервуарных парков.

Не смотря на то, что в общей статистике чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках крупномасштабные аварии являются нечастым событием, они, как правило, сопровождаются человеческими жертвами и огромным материальным ущербом [2, 3].

За многолетнюю историю эксплуатации резервуарных парков для хранения нефтепродуктов сложились два основных сценария ликвидации пожаров на данных объектах: ликвидировать пожар путем применения воздушно-механических пен, либо дать нефтепродукту выгореть полностью. При этом, чаще всего, авария развивается каскадно, и возникает так называемый эффект «домино» [4-7], в результате которого, в пожар по средством лучистого и конвективного теплообмена вовлекаются соседние с горящим объекты.

Для предотвращения каскадного развития пожара в резервуарном парке необходимо минимизировать теплообмен между объектами резервуарного парка,

в частности, между горящим и соседними с ним резервуарами, то есть своевременно провести мероприятия по тепловой защите [8-10].

На сегодняшний день существует инновационный метод тепловой защиты [11-13], который основан на применении модифицированных водногелевых составов (ВГС) в качестве основного теплового агента в системах охлаждения.

Авторами [14, 15] обоснована возможность применения водногелевых составов для целей охлаждения резервуаров и показаны преимущества данных составов по сравнению с традиционным охлаждающим веществом – водой.

Целью авторского исследования является расчетно-техническое обоснование выбора насосных систем для подачи модифицированных водногелевых составов в систему охлаждения резервуаров в резервуарных парках для хранения нефтепродуктов.

Материалы и результаты исследования. В ходе исследования [16] на основании данных натурных экспериментов были получены оптимальные концентрации модифицированных водно-гелевых составов для целей тепловой защиты резервуаров для хранения нефтепродуктов.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные по плотности, вязкости модифицированных водногелевых составов с различной концентрацией гелеобразователя и расчетные числа Рейнольдса, по-

лученные на основании экспериментальных данных.

Таблица 1 – Значения динамической вязкости модифицированных водногелевых составов и соответствующие им числа Рейнольдса

Концентрация РАП, масс.%	Плотность ВГС кг/м ³	Вязкость ВГС, Пуаз (Па·с)·10 ⁻²	Число Рейнольдса
0%	1000	1,06	550,77
0,10%	1045	0,44	1205,01
0,20%	1010	13,82	38,17
0,25%	1022	106,48	4,92
0,30%	1067	169,8	3,07
0,40%	990	184,52	2,81
0,50%	1010	188,47	2,73
1,00%	998	508,63	0,99

На основании данных таблицы 1 можно утверждать, что водногелевые составы могут подаваться с помощью стандартных стальных трубопроводов, применяемых в системах охлаждения резервуаров.

Интенсивность подачи воды на охлаждение конструкций резервуаров регламентируется в [8]. Авторами ранее была определена интенсивность подачи ВГС при охлаждении резервуаров с помощью модифицированных ВГС.

Авторами [14] проводился гидравлический расчет расходно-напорных характеристик насосного оборудования, необходимого для подачи ВГС в систему охлаждения резервуаров различных типов. На основании расчетных данных определено три варианта концентрации ВГС для целей охлаждения, в зависимости от геометрических параметров резервуара.

Таблица 2 – Данные о требуемых расходах и напорах насосной станции для целей охлаждения различных типов резервуаров

Геометрические параметры резервуара			Концентрация ВГС					
Номинальный объем резервуара, м ³	Диаметр резервуара, м	Высота наружной стенки резервуара, м	0,10 масс.%		0,20 масс.%		0,25 масс.%	
			Q, м ³ /ч	H, м	Q, м ³ /ч	H, м	Q, м ³ /ч	H, м
5000 (тип 1)	22,8	12	6,06	22,06	15,14	34,59	26,45	322,40
5000 (тип 2)	20,92	15	5,56	25,05	13,89	34,71	-	-
10000 (тип 1)	28,5	18	7,57	28,12	18,92	52,68	-	-
10000 (тип 2)	34,2	12	9,08	22,21	22,71	64,75	-	-
20000 (тип 1)	39,9	18	10,60	28,34	26,50	96,00	-	-
20000 (тип 2)	47,7	12	12,67	22,58	31,67	138,37	-	-
30000	45,6	18	12,11	28,51	30,28	129,63	-	-
40000	56,9	18	15,11	28,99	-	-	-	-
50000	60,7	18	16,12	29,21	-	-	-	-

На основании данных таблицы 2 произведен подбор основных характеристик насосного оборудования для установки в систему охлаждения резервуаров нефтепродуктов при использовании модифицированных ВГС. Подбор насосов осуществлялся на основании актуальных каталогов флагманов рынка производства насосного оборудования. При прочих равных условиях, выбирался вариант наиболее оптимальный по надежности, качеству и цене.

Поскольку линия по приготовлению ВГС должна быть расположена внутри отапливаемого помещения [15], целесообразно выбирать поверхностные консольные центробежные насосы, предназначенные для перекачки воды либо неактивных жидкостей по вязкости и плотности близких к воде [17, 18].

В случае применения модифицированных ВГС, плотность которых отлична от воды [19, 11], значения давления на выходе из насоса можно найти пропор-

ционально изменению плотности относительно воды. Таким образом, при подборе насосного оборудования для применения в системе охлаждения резервуаров в парках для хранения нефтепродуктов необходимо произвести подбор насоса для воды по требуемым расходно-напорным характеристикам, а затем произвести уточнение на основании данных по плотности водногелевого состава.

Подбор насосного оборудования производился по расходно-напорным кривым. Пример подобных кривых для насосного оборудования НК 40- 250 торговой марки Grundfos представлен на рисунке 1. Данный насос рекомендуется для применения с модифицированным ВГС концентрации 0,1 масс.% в системе охлаждения резервуара с высотой стенки 12 м и номинальным объемом 5000 м³.

По расходно-напорным кривым рабочий диапазон давлений данного насоса 160 – 240 кПа; при мощности

порядка 2 кВт. Зная, что ВГС с концентрацией гелеобразователя 0,1 масс.% имеет плотность 1045 кг/м³, увеличиваем требуемое давление на выходе из насоса на 4,5%. Следовательно, необходимое давление на выходе из насоса будет составлять 2,09 кВт, что попадает в рабочий диапазон выбранного насосного оборудования. Таким образом, можно утверждать, что для применения в системе охлаждения резервуара вертикаль-

ного стального с высотой стенки 12 м номинальным объемом 5000 м³ возможно применение существующего насосного оборудования, используемого для подачи воды, что исключит затраты на модернизацию системы.

Результаты, полученные при подборе насосного оборудования для охлаждения различных вертикальных стальных резервуаров, представлены в таблице 3.

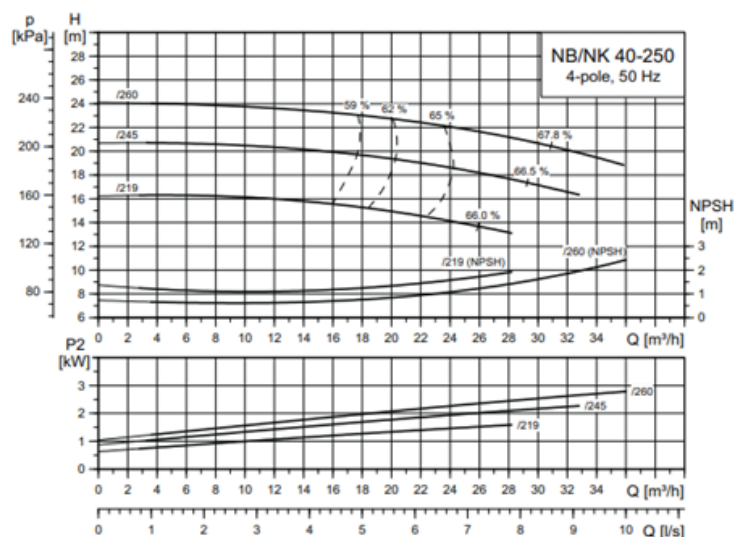


Рисунок 1 – Диаграмма рабочих характеристик на примере центробежного одноступенчатого насоса Grundfos NK 40-250

Таблица 3 – Характеристики насосного оборудования для целей охлаждения различных типов резервуаров

Номинальный объем резервуара, м ³	0,00 масс.% (вода)			0,10 масс.%			0,20 масс.%			0,25 масс.%		
	Н _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт	Н _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт	Н _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт	Н _{ном} , м	Q _{ном} , м ³ /ч	P _{ном} , кВт
5000 (тип 1)	22,6	23,4	2,00	22,6	23,4	2,09	22,6	23,4	3,01	22,6	23,4	4,32
5000 (тип 2)	22,6	23,4	2,00	22,6	23,4	2,09	22,6	23,4	3,15	22,6	23,4	4,56
10000 (тип 1)	38,4	43,5	7,5	38,4	43,5	7,84	38,4	43,5	8,14	38,4	43,5	9,16
10000 (тип 2)	38,4	43,5	7,5	38,4	43,5	7,84	38,4	43,5	8,32	38,4	43,5	9,24

Произведенные расчеты показали, что при увеличении концентрации гелеобразователя свыше 0,25 масс. % значительно увеличивается потребляемая мощность насосного оборудования, что является существенным ограничением в применении водногелевых составов в системах охлаждения.

Установлено, что для резервуаров объемом до 10000 м³ применение ВГС не потребует модернизации системы охлаждения в части касемо насосного оборудования и может быть эффективно реализовано в существующих системах охлаждения резервуарных парков.

Заключение. Таким образом, применение модифицированных ВГС в существующих системах охлаждения позволит интенсифицировать процесс тепловой защиты в резервуарных парках без существенной технологической модернизации систем охлаждения, и, следовательно, без существенных капиталовложений на стадии внедрения нового теплового агента в практику применения.

Предложенный способ тепловой защиты, может быть рекомендован к реализации в существующих стандартных системах тепловой защиты резервуарных парков для хранения нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Информация о социально-экономическом положении России [Электронный ресурс] // Росстат. – 2020. – Режим доступа: URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/6WHhWc1N/oper-12-2020.pdf>
2. Краснов А. В., Статистика чрезвычайных происшествий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности за 2007-2016 гг / А.В. Краснов, З.Х. Садыкова, Д.Ю. Пережогин, И.А. Мухин // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». – 2017. – №. 6. – С. 179-191.
3. Калач А. В., Методика оценки пожарной опасности горючей среды на основе веществ, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса / А.В. Калач, А.М. Черепашин, Е.В. Калач // Техносферная безопасность. – 2019. – 4(25). – С. 58-62.
4. Gomez-Mares M., Zarate L., Casal J., Jet fire and the domino effect. // Fire safety journal. 2008. №43. P.583-588.
5. Котляревский В.А., Безопасность резервуаров и трубопроводов / В.А. Котляревский, А.А. Шаталов, Х.М. Ханухов – М.: Экономика и информатика, 2000. – 555 с.

6. Азаров Н. И., Анализ возможности каскадного развития аварий на взрывопожароопасных объектах/ Н.И. Азаров, О.В. Давидок, Н.В. Кошовец, М.В.Лисанов // Безопасность труда в промышленности. -2007. -№5. С.42-47

7. Сучков В. П., Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов. - М.: ЦНИИТ Энефтехим, 1995.

8. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. М.: ГУППС, ВНИИПО МВД России, 1999. 86 с.

9. Марков В. Ф., Физико-химические основы развития и тушения пожаров: учеб. Пособие / В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, М.П. Миронов, С.Н. Пазникова – Екатеринбург: УрО РАН, - 2011. С. 272.

10. Шароварников А. Ф., Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С. А. Шароварников - М.: Пожнаука, 2007. – 380 с.

11. Иванов А. В., Исследование характеристик модифицированных гидрогелей для целей тепловой защиты резервуаров нефтепродуктов / А.В. Иванов, В.И. Михайлова, Г.К. Ивахнюк, Ф.В. Демехин // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. №4(26). -С.58-67. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.58-67

12. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация; Ивахнюк Г.К. (RU), Матюхин В.Н. (RU), Клачков В.А. (RU), Шевченко А.О. (RU), Князев А.С. (RU), Ивахнюк К.Г. (RU), Иванов А.В. (RU), Родионов В.А. (RU), Опубликовано: 10.04.2013. Бюл. № 10 Федеральной службы по интеллектуальной собственности] URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2479005>

13. Ivanov A., Mikhailova V., Savelev D., Skrypnik I., Kaverzneva T., Use of Hydrogel Composition to Increase Efficiency of Thermal Protection of Oil Product Tanks.// International Journal of Performability Engineering. 2020. Vol. 16. №12. P. 1853-1861.

14. Михайлова В. И., Моделирование систем орошения резервуаров нефтепродуктов в условиях применения модифицированных водногелевых составов / В.И. Михайлова, И.Л. Скрипник, А.В. Иванов // Проблемы управления рисками в техносфере. - 2019. - №4 (52). - С.51–60.

15. Михайлова В. И., Разработка системы тепловой защиты резервуаров с использованием гидрогелей на основании моделирования и экспериментальных данных / В.И. Михайлова, Г.К. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2021. – №. 2. – С. 15-22.

16. Михайлова В. И., Влияние параметров модификации на теплозащитные характеристики водногелевых составов в условиях углеводородного горения / В.И. Михайлова, А.В. Иванов, В.Я. Трофимец // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России: научно-аналитический журнал. - 2017. - № 3. -С.79 – 87.

17. Морозова А. А., Определение критериев подбора насосного агрегата / А.А. Морозова, Р.А. Шипилов, В.И. Лукьяненко // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. – 2018. – №. 3. – С. 9-15.

18. Галеев А. С., Мониторинг эффективности эксплуатации насосного оборудования / А.С. Галеев, Г.И. Бикбулатова, Ю.А. Болтнева, С.Л. Сабанов. – 2019.

19. Bujar M., Carbopol polymers as functional gelling agents / M. Bujar, A. Zirko, M. D'emin // ipheb&cphl RUSSIA. - 2017.

Статья поступила в редакцию 14.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 614.841

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0025

**ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЗАНЯТИЙ В ЛАБОРАТОРИЯХ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

© 2022

Manaeva Alina Ramzilevna, кандидат технических наук, доцент кафедры химии и материаловедения
Академия гражданской защиты МЧС России

(141435, Россия, Московская область, г. о. Химки, мкр. Новогорск, e-mail: chem88@yandex.ru)

Аннотация. В статье показано, что организация прохождения инструктажей по охране труда на современном уровне требует привлечения интерактивных форм обучения. Приведены типы тестовых вопросов, которые можно использовать для проведения оценки знания требований техники безопасности (открытый вопрос, закрытый вопрос, на соответствие) с оценкой эффективности использования каждого типа вопроса. Показано, что открытую форму вопросов в тестировании целесообразно использовать при оценке знания техники безопасности в общей курсе химии (типы вопросов: множественный выбор, верно/неверно, на соответствие). Закрытую форму вопросов (короткий ответ, вычисляемый, описание, эссе) при оценке знания техники безопасности эффективно использовать в курсах общепрофессионального цикла направлений 20.03.01-Техносферная безопасность, таких как физико-химические основы развития и тушения пожара, материаловедение, радиационная химия и других. Это позволяет выявить способность студентов к эвристическому мышлению, способность устанавливать сложные причинно-следственные связи, в отличие от репродуктивного уровня (воспроизведения). Также показаны преимущества и недостатки тестирования перед традиционными формами контроля. Наряду с положительными сторонами, отмечено, что недостатками тестирования как формы контроля знаний является существование возможности угадывания ответов и необходимость значительного времени, усилий, наличия у разработчиков тестов высокой квалификации и опыта.

Ключевые слова: тестирование, Moodle, анализ тестовых заданий, химическая безопасность, дистанционное обучение, высшее образование, безопасность, охрана труда, инструктажи, техносферная безопасность

**SAFETY REQUIREMENTS WHEN CONDUCTING CLASSES IN LABORATORIES
OF PHYSICO-CHEMICAL PROFILE**

© 2022

Manaeva Alina Ramzilevna, ph.d (technical sc.), teacher chemistry and materials science
Civil Defence Academy EMERCOM of Russia

(141435, Russia, Moscow region, Khimki, MD. Novogorsk, e-mail: chem88@yandex.ru)

Abstract. The article shows that the organization of training on labor protection at the modern level requires the involvement of interactive forms of training. The types of test questions that can be used to assess the knowledge of safety requirements (open question, closed question, for compliance) with an assessment of the effectiveness of using each type of question are given. It is shown that it is advisable to use the open form of questions in testing when evaluating safety knowledge in the general chemistry course (types of questions: multiple choice, true/false, for compliance). The closed form of questions (short answer, calculated, description, essay) can be effectively used in the assessment of safety knowledge in the courses of the general professional cycle of the directions 20.03.01-Technosphere safety, such as the physico-chemical foundations of fire development and extinguishing, materials science, radiation chemistry and others. This allows us to identify the ability of students to heuristic thinking, the ability to establish complex cause-and-effect relationships, in contrast to the reproductive level (reproduction). The advantages and disadvantages of testing over traditional forms of control are also shown. Along with the positive aspects, it is noted that the disadvantages of testing as a form of knowledge control are the existence of the possibility of guessing answers and the need for considerable time, effort, the availability of highly qualified test developers and experience.

Keywords: testing, Moodle, analysis of test tasks, chemical safety, distance learning, higher education, safety, labor protection, briefings, technosphere safety.

Введение. Работа в химической лаборатории сопряжена с обращением легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих веществ (ГЖ), активных металлов, что характеризуется повышенным уровнем пожароопасности. Наличие химической лаборатории в ВУЗе требуется, в основном, для проведения лабораторных и лабораторно-практических занятий. К организации работы в лаборатории предъявляются жесткие требования обеспечения безопасности, поскольку в ходе работ широко используются вредные и опасные

для человеческого организма химические вещества [1]. При этом проведение инструктажа по охране труда является достаточно рутинной процедурой, часто не представляющей интереса для учащихся. Качество освоения материала при этом страдает, недостаточная осведомленность может привести к повышенному травматизму. Например, в работе [2] показано, что студенты знают правила техники безопасности в химической лаборатории на оценку «удовлетворительно», несмотря на то что инструктаж по охране труда про-

водится согласно требованиям 2 раза в год. Организация прохождения обучения по охране труда и оценка уровня освоения материала на современном уровне с использованием дистанционной системы обучения позволят усилить мотивацию обучающихся к применению безопасных приемов при работе в учебных лабораториях физико-химических дисциплин (химии, физико-химические основы развития и тушения пожара и т.д.). В статье [3] рассмотрены основные требования безопасности при работе с химическими веществами в научных и учебных лабораториях, выявлены существующие проблемы обеспечения безопасности химических лабораторий, среди основных выделено незнание требований охраны труда.

Таким образом, **цель** исследования – разработка предложений по совершенствованию организации прохождения инструктажа по охране труда при выполнении лабораторных практикумов по физико-химическим дисциплинам.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить виды тестов для оценки эффективности прохождения инструктажа по охране труда при выполнении лабораторных практикумов по физико-химическим дисциплинам.

2. Привести примеры тестов по каждому типу и выявить, для лабораторного практикума какой дисциплины наиболее целесообразно применить каждый тип теста.

Материалы и результаты исследования. Современный уровень развития науки и техники характеризуется использованием инфокоммуникационных технологий как средства повышения качества обучения, в том числе и по вопросам обеспечения безопасности [4]. Применение возможностей компьютерных и дистанционных технологий в системе управления производственной и промышленной безопасностью позволяет сократить материальные расходы на организацию обучения [5, 6].

Наиболее распространенной и удобной в использовании из некоммерческих систем признана Moodle (модульная объектно-ориентированная динамическая учебная среда) — система управления обучением [7], в которой возможна разработка авторского контента, она является оптимальной платформой для реализации процесса организации самостоятельного обучения. Преимущества системы Moodle заключаются в том, что она включает в себя все компоненты обучения, в том числе интерактивный диагностический компонент, позволяющий осуществлять самоконтроль и контроль знаний обучающихся [8]. Потребность социума в совершенствовании дистанционных форм учебной деятельности не перестает развиваться. Система Moodle выступает учебно-методическим материалом для организации практических заданий, индивидуальной и групповой деятельности обучающихся [9]. Согласно ГОСТ 12.0.004-2015 [10], целесообразно применять не только стандартные методы обучения охране труда, но и модернизировать их, тем

самым повышая эффективность обучения [11].

Определим основные виды тестов, которые используются в системе Moodle для оценки уровня знания материала [12]:

1. Множественный выбор: выбор одного или нескольких ответов на вопрос из совокупности предложенных ответов. Является закрытой формой тестового задания.

2. Верно/неверно: выбор да/нет между правильным и неправильным утверждением. Является закрытой формой тестового задания.

3. Короткий ответ: написание короткого ответа при ответе на вопрос. Является заданием открытой формы, пропущен смысловой элемент, который обучающийся находит самостоятельно.

4. Вычисляемый: вычислить значение по формуле. Предполагает написание числового значения при ответе на вопрос.

5. На соответствие: тестовое задание типа восстановления ответных частей, выбор ответа для каждого подвопроса.

6. Описание: краткий ответ на поставленный вопрос. Является заданием открытой формы. Применяется для дифференциации знаний студентов, задание повышенного уровня сложности по сравнению с предыдущими типами тестов.

7. Эссе: развернутый ответ на поставленный вопрос. Является заданием открытой формы. Позволяет проверить способность студентов к эвристическому мышлению, способности устанавливать сложные причинно-следственные связи, в отличие от репродуктивного уровня (воспроизведения).

Эффективность тестирования в среде MOODLE – это возможность быстрого создания отчетов по результатам прохождения тестов студентами с различными наборами контролируемых данных [13, 14].

Приведем примеры различных типов вопросов для прохождения инструктажа по охране труда в лабораториях физико-химических дисциплин:

I. Множественный выбор:

1. При термических ожогах необходимо:

а) промыть ожоговую поверхность большим количеством воды и затем разбавленным раствором пищевой соды;

б) промыть ожоговую поверхность большим количеством воды и затем разбавленным раствором уксусной кислоты;

в) наложить асептическую повязку, смоченную спиртом, затем нанести растительное масло или мазь от ожогов.

2. Гасить спиртовку необходимо:

а) задувая пламя;

б) накрывая пламя фитиля колпачком;

в) асбестовым одеялом.

II. Верно/неверно:

1. При ожоге кислотами необходимо промыть ожоговую поверхность большим количеством воды и затем разбавленным раствором пищевой соды.

2. Горящие щелочные металлы необходимо гасить

водой.

III. Короткий ответ:

1. Вещества, способные к возгоранию в воздухе от источника зажигания, но не способные к горению после его удаления, называются...

2. Низшая температура воспламенения жидкости, это температура – ...

IV. Вычисляемый:

1. Переливание бензина, эфира, спирта и других легковоспламеняющихся жидкостей проводит не ближе ... метров от открытого пламени.

2. Легковоспламеняющимися жидкостями являются жидкости с температурой вспышки менее ... °С в закрытом тигле.

V. На соответствие:

1. Установите соответствие между видом ожога и способом оказания помощи:

1. Термический ожог	А. промыть ожоговую поверхность большим количеством воды и затем разбавленным раствором пищевой соды
2. Ожог щелочами	Б. промыть ожоговую поверхность большим количеством воды и затем разбавленным раствором уксусной кислоты
3. Ожог кислотами	В. наложить асептическую повязку, смоченную спиртом, затем нанести растительное масло или мазь от ожогов

VI. Описание:

1. Почему нельзя тушить возгорание щелочных металлов водой?

2. Достоинством углекислого газа как средства пожаротушения является ..., так как...

VII. Эссе:

1. Опишите порядок действий при ожоге глаз кислотой.

2. Перечислите требования к средствам пожаротушения в лаборатории.

Заключение. В результате мы пришли к следующим выводам:

1. Применение различных форм тестовых вопросов (открытый вопрос, закрытый вопрос, на соответствие) при оценке знания требований безопасности в лабораториях физико-химических дисциплин способствуют повышению эффективности обучения. Данные результатов тестирования сохраняются, это позволяет вести учет прошедших инструктаж по охране труда и избежать формального подхода.

2. Открытую форму вопросов в тестировании целесообразно использовать при оценке знания техники безопасности в общей курсе химии (типы вопросов: множественный выбор, верно/неверно, на соответствие).

3. Закрытую форму вопросов (короткий ответ, вычисляемый, описание, эссе) при оценке знания техники безопасности эффективно использовать в курсах общепрофессионального цикла направления 20.03.01-Техносферная безопасность, таких как физико-химические основы развития и тушения пожара, материаловедение, радиационная химия и других. Это

позволяет проверить способность студентов к эвристическому мышлению, способности устанавливать сложные причинно-следственные связи, в отличие от репродуктивного уровня (воспроизведения).

Использование различных типов тестовых заданий при оценке степени усвоения содержания инструктажей по охране труда является важным, гибким инструментом для того, чтобы контролировать и диагностировать понимание студентами ключевых понятий безопасной работы в лаборатории. Впервые предложено проводить проверку знаний инструктажа по охране труда при работе в лаборатории на дистанционном образовательном портале Академии гражданской защиты МЧС России. Необходимо проводить регулярные опросы (тесты) по правилам техники безопасности с использованием среды MOODLE по каждой лабораторной работе, учитывая специфику работы. Данный подход также отвечает принципу максимального повышения уровня подготовки специалистов на единицу затрат, то есть вариант технического оснащения, который характеризуется максимальным отношением приращения уровня подготовки к приращению затрат на обучение специалистов [15], также создание предметно-ориентированных цифровых образовательных ресурсов позволяет значительно активизировать межпредметные связи и качественно улучшить учебный процесс [16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Апыхтина С.В., Козловская Ю.В. Анализ промышленной безопасности в учебных химических лабораториях химико-технологического корпуса ТвГТУ// Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии: сборник научных трудов II международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи. Тверь, 24-27 марта 2016 г. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2016. С.9-10.
2. Минкина М.М., Локтионова Е.Г. Охрана труда в химической лаборатории//Экология России: на пути к инновациям. 2015. № 11. С.27-30.
3. Горчаков Н.Н., Фетисов А.Г., Мессинева Е.М. Оценка безопасности при использовании химических веществ и материалов в научных и учебных лабораториях//Управление качеством: избранные научные труды Восемнадцатой Международной научно-практической конференции. Москва, 14-15 марта 2019 г. Москва: Пробел-2000, 2019. С.113-117.
4. Якушкина И.Г. Применение электронного пособия «Знаки безопасности» для повышения качества обучения в области безопасности жизнедеятельности// Педагогика высшей школы. 2016. № 1(3). С. 217–221.
5. Кошкина Л.Ю., Габитова А.Р. Проектирование компьютерной автоматизированной обучающей системы по технике безопасности работы в химической лаборатории// Вестник Казанского технологического университета. 2012. т.15. №10. С.235-239.
6. Твердынин Н.М., Шарифуллина Л.Р. Совершенствование подготовки в сфере техносферной безопасности при создании нового методического обеспечения по химии и материаловедению// Вестник РМАТ. 2020. № 2. С.80-84.
7. Организация самостоятельной работы студентов с использованием дистанционной системы Moodle/ А.А. Толстенева, В.К. Винник, О.С. Терехина, Кривенкова Е.Н., Куликов А.А.// Вестник Минского университета. 2014. № 4 (8). С. 37.
8. Манаева, А.Р. Обучение знакам пожарной безопасности в среде Moodle/ А.Р. Манаева// Безопасность труда в промышленности. 2019. № 3. С.65-69.
9. Погодина И.А., Власова А.Н. Современные средства результатов в программе Moodle// Modern science. 2019. №10-2. С. 272-274.

10. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда рисков [Электронный ресурс]: ГОСТ 12.0.004-2015. – Введ. 2017-03-01 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации ТЕХЭКСПЕРТ. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200080860> (дата обращения: 11.07.2021).

11. Чуян Е.Н., Джелдубаева Э.Р. Работа в системе дистанционного обучения Moodle. Симферополь: Изд-во Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, 2013. 130 с.

12. Джелдубаев Р. Использование различных типов тестовых заданий в курсе «Математический анализ» // Научный альманах. 2015. № 7 (9). С.315-317.

13. Зубрилин А.А., Рыбкина В.А. Система управления электронными курсами Moodle как инструмент проведения дистанционных олимпиад в вузе // Информатика и образование. 2021. № 1 (320). С.9-19.

14. Егорова Л.М. Использование Moodle для диагностики качества обучения химии // Теория и методика электронного обучения. 2013. Т.4. №1 (4). С.85-89.

15. Абдрахманов А.А., Полевой В.Г., Мазаник А.И., Твердынин Н.М. Методический подход к обоснованию рационального варианта технического оснащения учебных мест по дисциплине «Радиационная, химическая и биологическая защита» // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (47). С. 12 – 20.

16. Твердынин Н.М., Шарифуллина Л.Р. Информатизация образовательного процесса при изучении дисциплин «Химия» и «Материаловедение» в вузе // Образование, наука, научные кадры. 2020. № 2. С.261-264.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 331.45

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0026

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ С ВЗРЫВООПАСНЫМИ ИЗДЕЛИЯМИ ОБСЛУЖИВАЮЩИМ ПЕРСОНАЛОМ

© 2022

Вершинин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Техносферная безопасность»

Авдонина Любовь Александровна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Техносферная безопасность»

Пензенский государственный университет

(440026, Россия, Пенза, улица Красная, 40, e-mails: nvershinin@yandex.ru, laviks@yandex.ru)

Аннотация. Технология выполнения работ с взрывоопасными изделиями производится в строгом соответствии с технической документацией и соблюдением мер безопасности труда на всех операциях. Важным фактором предупреждения несчастных случаев при выполнении работ с взрывоопасными изделиями на производстве отводится постоянному соблюдению требований охраны труда специально обученным личным составом, который проводит эти работы на предприятии. Для моделирования оптимального управления охраной труда используется вариационное исчисление. Так как работы с взрывоопасными изделиями являются очень опасными для исполнителей, то их необходимо тщательно готовить и проводить с тщательным соблюдением мер предосторожности. В статье рассматривается моделирование оптимального управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями обслуживающим персоналом. Задачи и цели управления в вариационном исчислении определяются функционалами, которые строят исходя из стратегий функционирования объекта. Рассмотрены группы риска обслуживающего персонала и правила перевода их из одного состояния в другое. Разработана модель управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями обслуживающим персоналом.

Ключевые слова: охрана труда, изделие, безопасность, потенциально опасный объект, обслуживающий персонал, метод спуска в пространстве управлений, математическая модель сохранения здоровья работников, принцип максимума Понтрягина, аварийная ситуация, группы риска.

MODELING OF OPTIMAL LABOR PROTECTION MANAGEMENT WHEN WORKING WITH EXPLOSIVE PRODUCTS BY SERVICE PERSONNEL

© 2022

Vershinin Nikolay Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor,
professor of the Department of Technosphere Safety

Avdonina Lyubov Aleksandrovna, candidate of technical sciences,
associate professor of the Department of Technosphere Safety,

Penza State University

(440026, Russia, Penza, Krasnaya street, 40, e-mails: nvershinin@yandex.ru, laviks@yandex.ru)

Abstract. The technology of work with explosive products is carried out in strict accordance with technical documentation and compliance with occupational safety measures at all operations. An important factor in preventing accidents when performing work with explosive products in production is the constant compliance with labor protection requirements by specially trained personnel who carry out these works at the enterprise. The calculus of variations is used to model the optimal management of occupational safety and health. Since work with explosive devices is very dangerous for performers, they must be carefully prepared and carried out with careful observance of precautions. The article discusses the modeling of optimal labor protection management when working with explosive products by service personnel. The tasks and goals of management in the calculus of variations are determined by the functionals that are built based on the strategies of the functioning of the object. The risk groups of service personnel and the rules for transferring them from one state to another are considered. A model of occupational safety management during work with explosive products by service personnel has been developed.

Keywords: labor protection, product, safety, potentially dangerous object, service personnel, descent method in the management space, mathematical model of employee health preservation, Pontryagin maximum principle, emergency situation, risk groups.

Введение. Для предупреждения несчастных случаев при выполнении работ с взрывоопасными изделиями, все работники предприятия обязательно должны пройти обучение по охране труда и инструктажи на рабочих местах с отметкой в книге инструктажа. Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, вклю-

чающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [1]. Для того, чтобы труд был безопасным, необходимо создать такие условия труда, чтобы они не оказывали негативного влияния, как на трудовой потенциал работников, так и на состояние их

здоровья [2].

Система управления охраной труда в организации, является неотъемлемой частью общей системы управления организацией и устанавливает:

- общие требования к созданию и функционированию системы управления охраной труда в организации;
- единый порядок подготовки, принятия и реализации решений по осуществлению организационно-технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий труда и сохранение здоровья работников [3];
- основные направления деятельности по охране труда и здоровья работников;
- обучение и повышение мотивации выполнения требований охраны труда всеми работниками предприятия [3].

Целью работы является моделирование оптимального управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями для обеспечения безопасности обслуживающего персонала.

Материалы и результаты исследования. *1. Моделирование оптимального управления охраной труда при проведении работ с взрывоопасными изделиями.* По степени опасности производственного риска при обращении с взрывоопасными изделиями персонал можно разделить на несколько групп риска. Итак, классифицируем эксплуатационный персонал объ-

екта работ с взрывоопасными изделиями по группам риска с учетом уровня подготовки по охране труда. Градацию групп выполним в следующем порядке: чем выше номер группы, тем выше уровень риска возникновения аварийного риска вследствие нарушения требований безопасной эксплуатации. Численный состав групп примем как случайную величину $r_i(t) = h_i$, где i изменяется от 1 до n и является общим числом групп риска процесса [4].

При выполнении работ с взрывоопасными изделиями работниками могут возникать различные ситуации, влияющие на уровень риска:

- работники полностью или частично соблюдают требования безопасности, номер их группы риска не изменяется;
- действия работников приводят к нарушению требований безопасности, в результате чего резко возрастает аварийный риск, что побуждает руководителя отстранить работника от выполнения должностных обязанностей;
- происходит изменение штатного состава работников групп риска, что изменяет вклад группы в общий уровень риска.

Представим приведенные ситуации в виде графа перехода обслуживающего персонала из одной группы риска в другую, ситуацию отстранения работника от выполнения должностных обязанностей и включения в штат новых сотрудников, относящихся к той или иной группе риска (рис. 1).

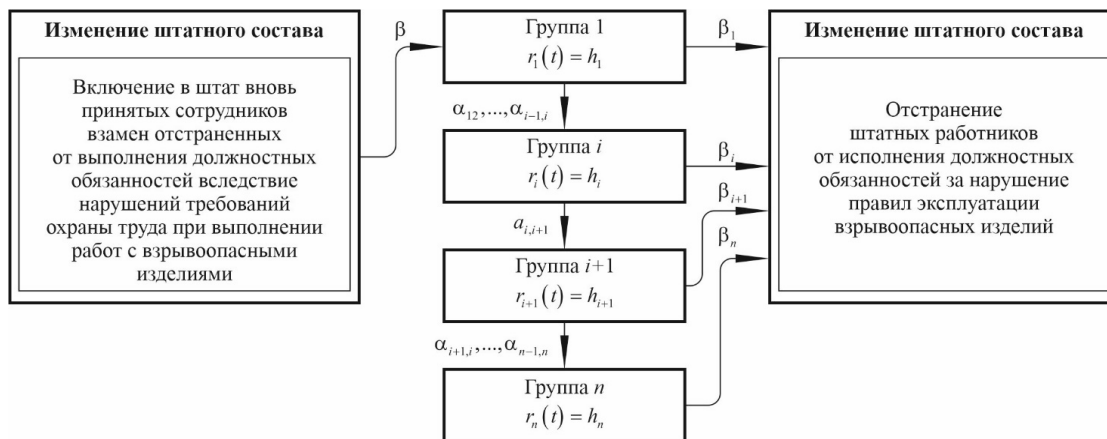


Рисунок 1 – Граф перехода обслуживающего персонала между группами по уровню риска

Любое нарушение требований охраны труда при работе с взрывоопасными изделиями учитывается в обязательном порядке. В том случае, если работник допустил грубое нарушение правил эксплуатации взрывоопасных изделий работодатель вправе не только отстранить работника от выполнения должностных обязанностей, но и уволить его из штата. В этом случае на место уволенного работника принимается новый [5].

Пусть за время Δt с вероятностью $P_{i,i+1} = h_i h_i + I \alpha_{i,i+1} \Delta t + b_i(\Delta t)$ любой работник, занятый на работах с взрывоопасными изделиями может попасть в более высокую группу риска, из группы i в группу $i+1$. В том случае, если работник допустил грубое нарушение правил

эксплуатации взрывоопасных изделий он может быть отстранен от выполнения должностных обязанностей работником с правом инспекционного контроля соблюдения требований охраны труда. Вероятность этого события может быть выражена как $P_i = h_i \Delta t + b_2(\Delta t)$. Если же работодателем принято решение об увольнении работника, то на его место принимается другой, а вероятность этого события выражается как $P_i = h_i \beta \Delta t + b_3(\Delta t)$ [6, 8].

Вероятность перехода работников между группами может быть оценена как интенсивность перехода $\frac{P_{i,i+1} + P_i \cdot P}{\alpha_{i,i+1}}$. Интенсивность инспекционного контроля за соблюдением правил эксплуатации взрывоопасных изделий выражена β , прием новых работников как

накопление вклада всех нарушений во время работ: $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n$. Общий численный состав группы равен $h = h_1 + h_2 + \dots + h_n$. Члены вероятностных уравнений $b_1(\Delta t)$, $b_2(\Delta t)$, $b_3(\Delta t)$ – остаточные члены формул Тейлора, которые при $\Delta t \rightarrow 0$ стремятся к 0 [6, 8].

Схема случайного марковского процесса, который иллюстрирует переход обслуживающего персонала из одной группы риска в другую, приведен на рисунке 2.

Персонал, занятый эксплуатацией взрывоопасных изделий, может повысить свою группу риска, например, из группы i до группы $i+1$ с вероятностью прямо пропорциональной произведению $h_i h_{i+1}$. Не сложно увидеть, что данное произведение моделирует влияние человеческого фактора на риск при обращении с

взрывоопасными изделиями: недисциплинированный работник, являющийся фактором повышенного риска и находящийся в группе повышенного риска, оказывает негативное влияние на дисциплинированных работников, которые входят в состав более низкой группы риска [7].

В стохастической системе $h_1, h_2, \dots, h_{i-1}, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n$ в произвольный момент времени t в группе i могут находиться $r_i(t) = h_i$ сотрудники, работа которых связана с эксплуатацией взрывоопасных изделий. Число работников в группе определяется вероятностью, что за некоторое время $t + \Delta t$ некий работник изменяет свою группу риска, либо сохраняет прежнюю, то есть $P(t; r_i(t) = h_i, r_2(t) = h_2, \dots, r_n(t) = h_n)$ или $P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)$ (рис. 1) [6, 8].

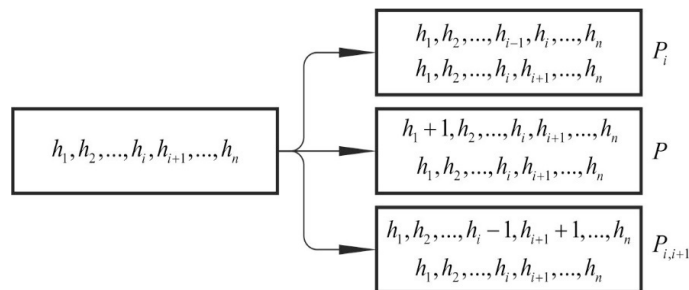


Рисунок 2 – Схема вероятностных переходов марковского процесса при изменении персоналом групп риска

Найдем вероятность того, что какое-то время $t + \Delta t$ случайный работник не изменит свою группу риска и продолжит работать в прежнем состоянии по методике, приведенной в [9, 10]:

$$P(t + \Delta t; h_1, h_2, \dots, h_n) = (1 - \sum_{i=1}^{n-1} h_i \alpha_{i,i+1} \Delta t + h_i \beta_i \Delta t + \delta_i h \beta \Delta t) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) + \left(\sum_{i=1}^{n-1} (h_i - 1)(h_{i+1} - 1) \alpha_{i,i+1} \Delta t \right) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) + ((h_i + 1) \beta_i \Delta t) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_i, \dots, h_n) + ((h - 1) \beta \delta_i \Delta t) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i - 1, h_{i+1}, \dots, h), \quad (1)$$

где $\delta_i = 1$, если $i = 1$ и $\delta_i = 0$, если $i \neq 1$.

Из (1) при $\Delta t \rightarrow 0$ получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dP(t; h_1, h_2, \dots, h_n)}{dt} = - \sum_{i=1}^n (h_i h_{i+1} \alpha_{i,i+1} + h_i \beta_i + h \beta \delta_i) P(t; h_1, h_2, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) - (h_i + 1)(h_{i+1} - 1) \alpha_{i,i+1} P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) - (h_i + 1) \beta_i P(t; h_1, h_2, \dots, h_i + 1, h_i, \dots, h_n) - (h - 1) \beta \delta_i P(t; h_1, h_2, \dots, h_i - 1, h_{i+1}, \dots, h), \quad h_{1,2,\dots,n} = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Начальное и конечное состояния деградации обслуживающего персонала объекта работ с изделиями математически опишем с помощью крайних условий для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (2) [8]:

$$P(t_0; h_1, h_2, \dots, h_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0, h_2 = 0, \dots, h_n = 0. \end{cases} \quad (3)$$

$$P(t_0 + \tau; h_1, h_2, \dots, h_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0 - h_p, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0 - h_p, h_2 = 0, \dots, h_n = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Граничное условие в уравнении (3) описывает исходное состояние объекта, при котором персонал обращается с взрывоопасными изделиями. Работники в количестве h_p прошли все необходимые инструктажи, стажировку, подтвердили знание правил безопасности в соответствии с должностными обязанностями и готовы к выполнению своих обязанностей. Граничное условие (4) описывает конечное состояние объекта [11].

Инспекционный контроль за время функционирования объекта τ выявил нарушения безопасности и отстранил от выполнения должностных обязанностей работников, допустивших нарушения правил эксплуатации взрывоопасных изделий. Работники, которые решением руководителя объекта были уволены, заменены другими сотрудниками. Так как процесс изменения штата объекта непрерывен, для безопасной

эксплуатации взрывоопасных изделий, количество работников не может быть меньше некоторой величины, которую можно назвать неуккомплектованностью штата – h_p [12].

Интенсивности перехода сотрудников между группами являются функциями времени: $\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i,i+1}(t)$, $\beta_i = \beta_i(t)$. Интенсивности перехода являются инструментом управления системы охраной труда объекта, на котором осуществляется эксплуатация взрывоопасных изделий [13].

2. Критерии оптимального управления охраной труда. Система управления охраной труда в рамках подсистемы «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда» решает задачу обеспечения безопасности за счет управления стохастическим ветвящимся процессом, описанным в форме обыкновенного

дифференциального уравнения (2) [14]. Достижения оптимального уровня управления возможно при использовании вариационного исчисления. Такой подход позволяет определить задачи и цели управления через функционалы, построенные на основе стратегий управления объектом. Стратегии управления могут быть заданы и исходят из текущих потребностей объекта. В качестве примера, рассмотрим одну из таких стратегий.

Пусть для некоторого объекта известна интенсивность перехода персонала из более низкой группы риска в более высокую рисковую группу: $\alpha_{i,i+1} = \alpha_{i,i+1}^0(t)$. Зная статистику функционирования объекта, на котором обращаются взрывоопасные изделия в течение длительного времени, например, нескольких лет, становится возможным определить интенсивность этих переходов [15].

Известна особенность восприятия работниками сложившихся условий труда, называемая «привыканием к опасности». При «привыкании к опасности» работник подсознательно начинает преуменьшать важность установленных мер безопасности, начинает отступать или полностью игнорирует правила безопасности при проведении работ с взрывоопасными изделиями.

Важно отметить, что длительное снижение трудовой дисциплины в сфере охраны труда приводит к распространению практики игнорирования требований безопасности на всю группу, значительно повышая вероятность аварийной ситуации [16].

Учитывая специфику трудовых взаимоотношений, можно сформулировать правило «нулевой толерантности» к нарушениям правил эксплуатации взрывоопасных изделий персоналом со стороны инспекционного контроля в подсистеме «объект работ с взрывоопасными изделиями – среда». В этом случае любой работник объекта, замеченный в нарушении требований безопасности при обращении с

взрывоопасными изделиями, в обязательном порядке отстраняется от выполнения своих должностных обязанностей. Замещение таких работников происходит на основании решения руководителя с учетом требований безопасности по минимальной комплектации штата объекта. Вновь принятые работники до допуска к самостоятельной работе проходят производственное обучение в объеме должностных обязанностей [17]. С математической точки зрения поставленная задача может быть реализована минимизацией функционала:
$$I(\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_n(t)) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \left(\sum_{i=1}^n (\alpha_{i,i+1}^0(t) - \beta_i(t))^2 \right) dt \quad (5)$$

Инспекционный контроль объекта должен обладать правами и обязанностями по решению поставленных задач (регламент контроля, персонал, необходимые технические средства и т.д.) Требования к ресурсному обеспечению инспекционного контроля могут быть представлены в виде неравенства:

$$\beta_1(t) + \beta_2(t) + \dots + \beta_n(t) \leq \beta_0 \quad (t_0 \leq t \leq t_0 + \tau), \quad (6)$$

где β_0 – наибольшая интенсивность контроля, которую может обеспечить инспекционный контроль на объекте работ с взрывоопасными изделиями.

3. Математическая модель оптимального управления охраной труда. Требования к математической модели строятся на основе критериев оптимального управления охраной труда и заданного уровня рисков (безопасности) на объекте обращения с взрывоопасными изделиями: хранения, подготовки к утилизации или переработке и непосредственно при утилизации или переработке.

Задача оптимального управления заключается в нахождении такой вероятности перехода работника из более низкой рискованной группы в более высокую $P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)$ и величину управления $\beta_i(t)$, при которой функционал (5) будет содержать минимальные воздействия при заданном временном масштабе приращения рисков, описываемого уравнением (2), начальном состоянии объекта (3) и (4), и граничных условиях достаточности контроля процесса (6).

Алгоритм решения задачи оптимального управления охраной труда и обеспечения заданного уровня рисков (безопасности) на объекте обращения с взрывоопасными изделиями может быть найден, используя принцип максимума Понтрягина. Начнем решение задачи с составления функции Гамильтона [6, 8]:

$$H(\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_n(t)) = - \sum_{i=1}^n (\alpha_{i,i+1}^0(t) - \beta_i(t))^2 + \sum_{h_1=0}^{\infty} \sum_{h_2=0}^{\infty} \dots \sum_{h_n=0}^{\infty} \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \sum_{i=1}^n \alpha_{i,i+1}^0(t) (h_i + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1} - 1, \dots, h_n) + \beta_i(t) (h_n + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) + \delta_i \beta (h - 1) P(t; h_1 - 1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) - (\alpha_{i,i+1}^0(t) h_i h_{i+1} + \beta_i(t) h_i + \delta_i \beta h) P(t; h_1, h_2, \dots, h_n), \quad (7)$$

$$\text{где } \frac{d\Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n}}{dt} = - \frac{\sigma H(\beta_1(t), \beta_2(t), \dots, \beta_n(t))}{\sigma P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)}. \quad (8)$$

Далее найдем частные производные функции Гамильтона (8):

$$\frac{\sigma H}{\sigma \beta_{x_i}} = 2(\alpha_{k,k+1}^0 - \beta_k(t)) + \sum_{\substack{h_1=0 \\ h_2=0 \\ \dots \\ h_n=0}}^{\infty} \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \left(\frac{(h_k + 1) \gamma_k^2}{\gamma_k^2 + (h_k + 1)^2} \right).$$

$$(P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) - h_i P(t; h_1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n)) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Используя уравнение (9) найдем оптимальное управление:

$$\beta_i^*(t, P, \Psi) = \alpha_{i,i+1}^0(t) - \frac{1}{2} \sum_{h_1=0}^{\infty} \sum_{h_2=0}^{\infty} \dots \sum_{h_n=0}^{\infty} \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \times ((h + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) - h_i P(t; h_1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n)), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Комбинируя уравнения (10), (2) и (8) получаем замкнутую краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (11) [6,8]. Находим функции $P(t; h_1, h_2, \dots, h_n)$, $\Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n}$ и формируем систему уравнений, описывающих оптимальное управление безопасностью (11):

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP(t; h_1, h_2, \dots, h_n)}{dt} &= -\sum_{i=1}^n (\alpha_{i,i+1}^0(t) h_i h_{i+1} + \beta^*(t, P, \Psi) h_i + \delta_i \beta h) \cdot \\ &\cdot P(t; h_1, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n) - \alpha_{i,i+1}^0(t) (h_i + 1) (h_{i+1} - 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots) - \\ &- \beta_i^*(t, P, \Psi) (h_i + 1) P(t; h_1, \dots, h_i + 1, h_{i+1}, \dots, h_n) - \delta_i \beta (h - 1) \cdot \\ &\cdot P(t; h_1 - 1, h_2, \dots, h_i, h_{i+1}, \dots, h_n); \\ \frac{d\Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n}}{dt} &= \Psi_{h_1, h_2, \dots, h_n} \sum_{i=1}^n \alpha_{i,i+1}^0(t) (h_i h_{i+1} - (h_i + 1) (h_{i+1} - 1)) - \\ &- \beta_i^*(t, P, \Psi) + \delta_i \beta; h = h_1 + h_2 + \dots + h_n; h_{1,2, \dots, n} = 0, 1, 2, \dots; \\ P(t_0; h_1, h_2, \dots, h_n) &= \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0, h_2 \neq 0, \dots, h_n \neq 0, \end{cases} \\ P(t_0 + \tau; h_1, h_2, \dots, h_n) &= \begin{cases} 1, & \text{если } h_1 = h_0 - h_p, h_2 = 0, \dots, h_n = 0, \\ 0, & \text{если } h_1 \neq h_0 - h_p, h_2 \neq 0, \dots, h_n \neq 0. \end{cases} \end{aligned} \right. \quad (11).$$

Для решения уравнения (11) может быть использован метод Ньютона с дроблением шага. В этом случае краевая задача решается через серию задач Коши. В том случае, если найти решение задачи не представляется возможным, вносятся коррективы в граничные условия (4), то есть корректируется конечное состояние объекта, на котором обращаются с взрывоопасными изделиями. Например, можно предположить, что в группах малого риска не были выявлены работники, допустившие нарушения правил безопасности при обращении с взрывоопасными изделиями из-за чего граничное условие (4) может быть скорректировано [18]. Иная проблема поиска решения (11) состоит в том, что (10) нарушает требования граничного условия (6): величина воздействия либо слишком мала, либо наоборот его величина явно велика. Подобные результаты говорят о том, что в первом случае штат инспекционного контроля недостаточен и, необходимо увеличить число контролируемых работников, а во втором – наоборот, контроль избыточен и возможно нужно сократить число inspectирующих сотрудников [9].

Наглядно работу предложенной модели можно проиллюстрировать анализом работы персонала на объекте обращения с взрывоопасными изделиями четырех различных групп риска. На рисунке 3 показан уровень интенсивности контроля β_i ($i=1, 2, 3, 4$) в четырех группах риска в зависимости от времени проведения процесса при оптимальном управлении системой контроля [19].

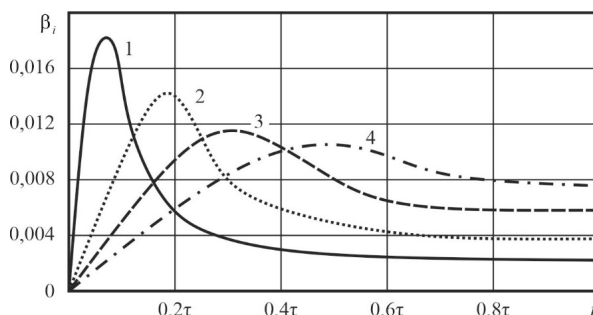


Рисунок 3 – Оптимальное управление системой контроля на объекте работ с взрывоопасными изделиями с четырьмя группами риска обслуживающего персонала: $h_0=100$, $\alpha_{12}=0,015$, $\alpha_{23}=0,011$, $\alpha_{34}=0,009$

На рисунке 3 можно наблюдать 2 режима управления:

– нестационарный, который характерен для периода $0 \leq t \leq 0,4\tau$, когда на объекте еще не завершено формирование штата и к работе приступают новые

сотрудники;

– стационарный, в периоде времени $t > 0,4\tau$, когда штат полностью сформирован и изменяется незначительно.

Заключение. Граничные условия, которые устанавливают интенсивность контроля в группах малого риска, четко указывают на особенную роль инспекционного контроля в начальный период работы на объекте обращения с взрывоопасными изделиями [20]. Можно с уверенностью сказать, что в период $0 \leq t \leq 0,4\tau$ на объекте должен быть установлен режим «нулевой толерантности» к любым нарушениям требований охраны труда и техники безопасности при обращении с взрывоопасными изделиями, а персонал, допускающий любые, даже самые незначительные нарушения указанных требований, должен быть отстранен от выполнения должностных обязанностей [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учебник для бакалавров / Г.И. Беляков - 2-е издание переработанное и дополненное. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 572 с.
2. Боброва-Голикова, Л.П. Эргономика и безопасность труда / Л.П. Боброва-Голикова, О.М. Мальцева и др. // – М.: Машиностроение, 1985.
3. Рекомендации по созданию и функционированию системы управления охраной труда и обеспечением безопасности образовательного процесса в образовательных организациях, осуществляющих образовательную деятельность (письмо министерства образования и науки РФ от 25 августа 2015 г. № 12-1077) // Управление качеством образования: теория и практика эффективного администрирования. – 2019. – № 5. – С. 71-78.
4. Авдонина Л.А. Использование современной информационной технологии при подготовке специалистов. // Материалы 34-й Всероссийской НТК. Часть 2./РВВКУС, Рязань, 2009. – С.21-27.
5. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ – Редакция от 22.11.2021 – с последними изменениями.
6. Плющ, А.А. Оптимальное управление безопасностью на потенциально опасном объекте при эвакуации боеприпасов обслуживающим персоналом // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2008. – № 2(58). С. 68-72.
7. Плющ А.А. Математическая модель прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объекте хранения боеприпасов при нарушении правил их эксплуатации обслуживающим персоналом // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2007. – Т. 1. – С. 234-237
8. Плющ, А.А. Математическая модель оптимального управления безопасностью эксплуатации боеприпасов обслуживающим персоналом на объекте хранения // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2007. – Т. 1. – С. 50-52.
9. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.
10. Севостьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. – М.: Наука,

1971. – 367 с.

11. Радаев Н.Н. Элементы теории риска потенциально опасных объектов. – М.: РВСН, 2000. – 323 с.

12. Авдонина, Л.А. Процессный подход к созданию информационных систем поддержки прогнозных решений по оценке уровня безопасности технических объектов. Монография. / Л.А. Авдонина, В.И. Волчихин, А.К. Тарасов, Е.В. Тихомирова. Пенза: Издательство ПГУ, 2012. – 230 с.

13. Тихомиров, В.А. Системный подход к интеграции информационных ресурсов в концепцию математического моделирования / В.А. Тихомиров, И.А. Карпов, Е.В. Тихомирова // Программные продукты и системы. – 2008. – № 1. – С. 4–7.

14. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. – М.: Издательство ОНТИ, 1936. – 80 с.

15. Владимирова В.А., Измалков В.И., Измалков А.В. Оценка риска и управление техногенной безопасностью. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 183с.

16. Курков С.Н. Основы живучести потенциально опасных объектов. Монография. / С.Н. Курков, А.А. Плещ. – Пенза: ПАИИ, 2006. – 248 с.

17. Вершинин Н.Н. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. // Сб. тр. Международного симпозиума «Надежность и качество - 2003». – Пенза: Информационно – издательский центр ПГУ, 2003. – С. 412-414.

18. Пушина А.А. Оценка качества научного исследования. / А.А. Пушина, Е.В. Тихомирова // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2009. – Выпуск 14. – С. 35-40.

19. Андреев Г.И., Тихомиров В.А. Научные основы теории систем и системного анализа: // Материалы докладов семинара «Проблемные вопросы теории систем» – Тверь: ВУ ПВО, 2000. – С. 287- 295.

20. Северцев, Н.А. Системный анализ и моделирование безопасности: учебное пособие / Н.А. Северцев, В.К. Дедков// – М.: Высшая Школа, 2006. – 462 с.

Статья поступила в редакцию 05.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 331.451

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0027

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ
УЛУЧШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ**

© 2022

Нарусова Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент
Степанов Андрей Николаевич, заведующий лабораторией
Стручалин Владимир Гайозович, кандидат технических наук, доцент
Лебедева Анастасия Сергеевна, аспирант
*кафедра «Управление безопасностью в техносфере»
Российский университет транспорта
(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9,*

e-mails: e.narusova@ubt-rut-miit.ru, an.nik.stepanov@gmail.com, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, lebedeva_a_s@list.ru)

Аннотация. Представлены результаты анализа защитных свойств специальной одежды, используемой работниками путевого комплекса при определенных технологических операциях производственного процесса текущего содержания железнодорожного пути. Показано, что стандартный комплект специальной одежды монтера пути не включает элементов, необходимых для обеспечения безопасности труда при выполнении работ, связанных с возможностью воздействия на работника искр и брызг расплавленного металла. На основе проведенного исследования и опыта работы определено, что для обеспечения безопасности труда работников и предотвращения случаев производственного травматизма необходимо модернизировать некоторые элементы специальной одежды во избежание утраты ими функций средства индивидуальной защиты. В рамках исследования проведен ряд экспериментов по определению необходимых огнезащитных свойств элемента специальной одежды. Предложена оптимальная, учитывающая особенности условий труда модель защитных чехлов, позволяющих защитить работника от воздействия струи раскаленной каменно – металлической пыли при производстве работ по резке железнодорожных рельсов.

Ключевые слова: безопасность труда, специальная одежда, средства индивидуальной защиты, охрана труда, путевые работы, монтер пути.

**INCREASING SAFETY OF WORKERS OF THE TRACK COMPLEX ON THE BASIS OF IMPROVING
THE PROTECTIVE PROPERTIES OF SPECIAL CLOTHING**

© 2022

Narusova Elena Yurievna, candidate of technical sciences, associate professor
Stepanov Andrei Nikolaevich, head of laboratory
Struchalin Vladimir Gaiozovich, candidate of technical sciences, associate professor
Lebedeva Anastasia Sergeevna, postgraduate
*Department “Management of safety in a technosphere”
Russian University of Transport
(127994, Russia, Moscow, Obraztsov St. 9, building 9,*

e-mails: e.narusova@ubt-rut-miit.ru, an.nik.stepanov@gmail.com, v.struchalin@ubt-rut-miit.ru, lebedeva_a_s@list.ru)

Abstract. The results of the analysis of the protective properties of special clothing used by workers of the track complex in certain technological operations of the production process of the current maintenance of the railway track are presented. It is shown that the standard set of special clothing for a track adjuster does not include the elements necessary to ensure labor safety when performing work related to the possibility of exposure to sparks and splashes of molten metal on the worker. Based on the study and work experience, it was determined that in order to ensure the safety of workers and prevent cases of industrial injuries, it is necessary to modernize some elements of special clothing in order to prevent them from losing the functions of personal protective equipment. As part of the study, a number of experiments were carried out to determine the necessary fire-retardant properties of an element of special clothing. An optimal model of protective covers, taking into account the peculiarities of working conditions, is proposed to protect the worker from the impact of a jet of red-hot stone-metal dust during the work of cutting railroad rails.

Keywords: labor safety, special clothing, personal protective equipment, labor protection, track work, track adjuster.

Введение. Приказом Минтруда Российской Федерации определены 195 профессий, представителям которых работодатель обязан предоставлять спецодежду [1]. Работник, одетый в спецодежду, узнаваем потенциальными клиентами, он чувствует корпоративную ответственность и заботу, опрятно выглядит, спецодежда положительно влияет на дисциплину в коллективе. Кроме того, такая одежда выполняет сигнальную

функцию с помощью светоотражающих элементов или имеет защитно-маскировочную окраску в зависимости от необходимости [2]. Спецодежда приобретается работодателем и бесплатно выдается работникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, связанных с загрязнением, а также как форменная одежда [3].

При выполнении ряда производственных про-

цессов работники должны быть обеспечены спецодеждой, которая может выполнять функции средства индивидуальной защиты, для этого она должна быть изготовлена с учетом определенных требований. Выдаваемая работникам в качестве средства индивидуальной защиты спецодежда в обязательном порядке должна иметь сертификат соответствия, подтверждающий ее соответствие требованиям безопасности, установленным законодательством для данной профессии. К средствам индивидуальной защиты относятся специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты: изолирующие костюмы, средства защиты органов дыхания, рук, головы, лица, органов слуха, глаз, предохранительные приспособления.

Разнообразие технологических процессов и видов работ по текущему содержанию железнодорожного пути при постоянном совершенствовании путевого инструмента приводит к ситуации, когда установленный набор специальной одежды не способен полностью обеспечить безопасность работника пути, при выполнении им своих должностных обязанностей [4].

Цель данного исследования – уменьшение влияния вредных производственных факторов на работников путевого комплекса при производстве работ.

Материалы и результаты исследования. Производство работ по текущему содержанию железнодорожного пути связано с ручным трудом и, как следствие, с необходимостью большого штата путевых рабочих. Работы на пути производятся независимо от времени года, погоды и окружающей среды. Для безопасного и комфортного производства работ на железнодорожных путях в условиях постоянного нахождения рабочих на открытом воздухе распоряжением ОАО «РЖД» и Приказом Минздрава определена личная норма бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты в зависимости от занимаемой должности [5-7].

Набор средств индивидуальной защиты монтера пути включает: комплект «Путеец – Л», ботинки юфтевые на маслобензостойкой подошве, куртку из плащевого полотна, плащ для защиты от воды, перчатки комбинированные, перчатки трикотажные, очки защитные открытые, респиратор противогазоаэрозольный, жилет сигнальный 2-го класса защиты. Для выполнения работ, требующих специальной защиты от воздействия различных вредных производственных факторов предусмотрены дополнительные виды спецодежды. При выполнении работ по ограждению места производства работ на железнодорожном пути выдаются нарукавники сигнальные и головной убор сигнальный; при работе виброинструментом – рукавицы виброзащитные; при работе с электроинструментом – перчатки диэлектрические; при выполнении работ в тоннеле – каска защитная с фонарем шахтерским, наушники противозвучные, сапоги резиновые. Зимой дополнительно выдаются: комплект для защиты от пониженных температур «Путеец», шапка – ушанка со звукопроводными вставками, шапка

трикотажная, рукавицы утепленные, сапоги кожаные утепленные «Север ЖД», полусубок.

Все средства индивидуальной защиты и спецодежда, в частности, предназначены для защиты здоровья и жизни рабочих от воздействия различных негативных факторов при выполнении ими своих должностных обязанностей. Такими факторами на железной дороге являются: высокие и низкие температуры, вода, ветер, пыль, грязь, возможность поражения электрическим током.

Согласно должностной инструкции монтер пути не занимается электро- и газосварочными работами, не работает с открытым огнем и, имея 3 группу допуска по электробезопасности, не выполняет работы с электроустановками напряжением более 1000 Вольт [8]. Поэтому к специальной одежде путевого рабочего предъявляется требование наличия защитных свойств 3 МИ. Она должна защищать от механических воздействий (истирания) и общих производственных загрязнений. Основной защитный материал такой одежды состоит из 60% хлопчатобумажной ткани и 40% полиэстера плотностью 250 г/м² [9, 10].

Данный материал, казалось бы, рассчитан на безопасное и комфортное выполнение всех видов ремонтно – путевых работ на железнодорожном транспорте. Однако заказчики и изготовители не учитывают некоторых факторов производственного процесса в работе монтера пути, например, при резке рельсов рельсорезным станком, рабочим органом которого является вращающийся абразивный диск.

Процесс резки железнодорожного рельса, занимающий примерно 6 минут, сопровождается обильным потоком раскаленной крупнофракционной каменно-металлической пыли. Некоторая часть этой пыли, вылетая из-под защитного кожуха, неминуемо попадает на брюки рабочего, прожигая их в области берцовой кости и голени [11, 12].

Работа рельсорезного станка сопровождается повышенным шумом, ярким светом и концентрацией токсичных веществ от работы бензинового двигателя и трения абразивного диска о металл. В такой ситуации рабочий не может вовремя обнаружить попадание искр на спецодежду, а брюки из материала, не обладающего огнестойкостью должного уровня, быстро прогорают [13, 14]. В следующий момент раскаленный поток искр на огромной скорости попадает на уже незащищенную кожу рабочего, что приводит к моментальному болевому шоку и ожогам 2 степени, определяемым как производственная травма [15].

Исследования по повышению защитных свойств спецодежды. В начале исследования был проведен эксперимент по проверке огнестойких свойств материала костюма специальной одежды путевого рабочего при попадании на брюки струи раскаленной каменно-металлической пыли из-под защитного кожуха рельсорезного станка. Эксперимент показал, что уже после 12 секунд воздействия искр брюки прожигаются [16, 17].

После осмотра имеющихся в наличии 5 комплек-

тов защитной одежды с прожжёнными при резке рельсов брюками было установлено, что поток искр прожигает их на высоте до 35 см от подошвы упорной во время работы ноги. Очевидно, что после этого защитные свойства спецодежды полностью утрачиваются, и работник, продолжая работать в ней, может получить производственную травму.

Следует пояснить, что использование отдельного специального защитного костюма для работы с рельсорезным станком не может служить решением проблемы, поскольку такой костюм будет тяжелым и неудобным при выполнении других работ, не требующих использования огнестойкого костюма. Разные виды работ производятся одними и теми же рабочими в течение одной смены, поэтому задача состоит в том, чтобы обеспечить их защиту без необходимости постоянного переодевания. С учетом этого обстоятельства предлагается использовать для защиты нижней части брюк накладные, по аналогии с наруканниками сигналиста, съемные чехлы размером 50 см из негорючего материала. Такое решение позволит не утяжелять спецодежду при обычной работе, а при необходимости выполнения операций, связанных с искрообразованием, использовать съемные детали одежды, которые будут защищать брюки от прогорания.

С помощью инфракрасного пирометра была измерена температура струи каменно-металлической пыли, образующейся при резке рельса абразивным диском рельсорезного станка. Температура струи в момент ее вылета из-под защитного кожуха составляет примерно 900°C [18].

Следующим шагом было изучение особенностей производственного процесса резки рельсов, влияющих на положение станка во время работы относительно рельса и позу работника, держащего рельсорезный станок. Было установлено, что при работе рельсорезным станком ноги работника находятся на расстоянии примерно 50 см от раскаленной металлической окалины.

Имея полученные данные, можно определить необходимый класс огнестойкой защиты по ГОСТ для предложенного нами элемента спецодежды [19]. Требованиям соответствует материал второго класса защиты с защитными свойствами Тр – от искр, брызг расплавленного металла, окалины.

Второй класс огнезащиты в чистом виде или после соответствующей обработки негорючим составом имеют следующие ткани и материалы: спиллок, брезент, сукно, кожа, молескин, арамид, арселон, марс, флэймшилд, саржа [20].

В качестве материала для пошива экспериментального комплекта чехлов на брюки в исследовании был использован наиболее доступный брезент с огнеупорной пропиткой плотностью 500 г/м² [21].

На полевых испытаниях предложенные чехлы полностью соответствовали своему назначению и выполняли защитную функцию. Огнеупорная ткань не загорелась и защищала рабочего от потока раскаленных искр на протяжении всего процесса резки рельса.

Немаловажным фактором, который может облегчить внедрение этого элемента спецодежды в практику, является простота использования, компактность и невысокая стоимость изготовления из доступного материала. Следует отметить, что проведенное исследование было направлено на поиск путей и демонстрацию возможности решения имеющейся проблемы. Безусловно, изменение комплектации специальной одежды монтера пути требует профессионального изучения вопроса и заключения соответствующих организаций.

Заключение. Анализ технологии производства работ по текущему содержанию пути и опрос работников путевого комплекса железных дорог выявили необходимость модернизации специальной одежды для профессии «Монтер пути». Были разработаны и испытаны на практике съемные защитные чехлы, использование которых позволит избежать травмирования рабочих в процессе резки железнодорожных рельсов. Проведенные в рамках эксперимента исследования и замеры позволили определить необходимый класс защиты материала для изготовления чехлов. Применение защитных чехлов, изготовленных из материала 2-го класса огнезащиты, в качестве элемента специальной одежды для монтера пути показало эффективность и целесообразность их использования при производстве работ по резке железнодорожных рельсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Приказ Минтруда России от 09.12.2014 № 997н «Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех видов экономической деятельности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением» [Электронный ресурс] / Правовая система Консультант Плюс. – Режим доступа: www.consultant.ru, свободный.
2. Фомченкова Л. Современная рабочая специальная одежда на отечественном рынке СИЗ // Охрана и экономика труда. – 2018. – №1 (30). – С. 110-118.
3. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 22.11.2021) [Электронный ресурс] / Правовая система Консультант Плюс. – Режим доступа: www.consultant.ru, свободный.
4. Степико И.С., Долгова Е.Ю. Исследование качества специальной одежды для работников железной дороги // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2014): Тезисы докладов всероссийской научной студенческой конференции (Москва 2014), Издательство: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет дизайна и технологии», 2014. – С. 46-47.
5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.12.2012г. №2738 «Об утверждении порядка обеспечения работников ОАО «РЖД» средствами индивидуальной защиты».
6. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 22.10.2008 года № 582н «Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам железнодорожного транспорта Российской Федерации» [Электронный ресурс] / Правовая система Консультант Плюс. – Режим доступа: www.consultant.ru, свободный.
7. Распоряжение ОАО «РЖД» от 16.06.2009 года №1248р «О типовых нормах бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты».

8. Нарусова Е.Ю., Стручалин В.Г., Степанов А.Н. Совершенствование обучения пожарной безопасности и охране труда // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и охраны труда: Сборник трудов XXXI Международной научно-практической конференции. Академия гражданской защиты МЧС России (Химки, 2021), Издательство: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2021. – С.109-115.

9. ГОСТ 12.4.280-2014 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования;

10. Чернышев М.В., Давыдов А.Ф., Чернышева Г.М. Оценка показателей качества для тканей при пошиве специальной одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 1. С.32 – 35.

11. Резцов П.И., Дурностук И.Р. Роль специальных материалов, которые используются для изготовления специальной защитной одежды пожарных // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2020. - №2 (6). - С. 371-374.

12. Кондратьев С.А., Попов А.В., Анализ нарушений требований пожарной безопасности, связанных с производством отрезных работ при помощи угло-шлифовальных машин // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – 2014. - №1. - С. 5-7.

13. Хохлов Д.Д., Фомина Н.Б., Нарусова Е.Ю. Методика обучения персонала транспортного комплекса действиям при пожаре // Юридическая наука в XXI веке: актуальные проблемы и перспективы их решений: Сборник научных статей по итогам работы круглого стола №12 с всероссийским и международным участием (Шахты 2021), Издательство: ООО «Конверт», 2021. – С.110-112.

14. Шустов Ю.С., Плеханова С.В., Шитова Т.И., Люкшинова И.В., Сравнение методик оценки распространения пламени на свойства специальной одежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. - №5 (395). - С. 63-67.

15. Нарусова Е.Ю., Стручалин В.Г., Степанов А.Н., К вопросу о первой помощи работникам при микротравмах // Вестник НЦБЖД. – 2021. - №2 (48). - С. 138-143.

16. Петухов А.Н., Иванов Н.А., Шустов Ю.С. Определение порогового времени при различной контактной температуре для тканей верха различного сырьевого состава // Сб. научн. тр., посвященный 75-летию кафедры материаловедения и товарной экспертизы. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2019. С. 61 – 67.

17. Иванов Н.А., Шустов Ю.С. Определение порогового времени контактирования тканей специального назначения в условиях повышенной температуры // Сб. мат. Всероссийск. научн. конф.: Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (Инновации-2020) посвященная Юбилейному году в ФГБОУ ВО «РГУ имени А.Н. Косыгина». – Ч. 2. – 2020. С. 9 – 14.

18. Абдульманов Р. Р., Оценка эффективности требований пожарной безопасности при работе с источником повышенной опасности на примере угло-шлифовальной машины (УШМ) // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. – 2018. - № 12 (141). - С. 5-7.

19. ГОСТ 12.4.250-2013 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от искр и брызг расплавленного металла. Технические требования.

20. Лаврентьева Е.П., Дьяченко В.В., Химические волокна, применяемые для производства огне- и термозащитной специальной одежды и средств индивидуальной защиты // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2015. – №3. – С. 24-29.

21. Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Давыдов А.Ф., Журавлева Е.М. Исследование защитных свойств тканей для одежды сварщиков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 4. С. 103 – 107.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 614.841.2.001.2

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0028

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ОМЕДНЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРОВОДНИКОВ
ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕРМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ
МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА**

© 2022

Пари́йская Анна Юрьевна, научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий
в экспертизе пожаров Исследовательского центра экспертизы пожаров

Мокряк Анна Васильевна, научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий
в экспертизе пожаров Исследовательского центра экспертизы пожаров

*Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, д. 35,
e-mails: anna_par.74@mail.ru, mokryakanna@mail.ru)*

Аннотация. Алюминиевый провод с медным покрытием (ССАВ или ССА) представляет собой электрический проводник, состоящий из внутреннего алюминиевого сердечника и внешней медной оболочки. Спрос на омедненные провода постоянно растёт, поскольку этот материал дешевле и легче, чем чистый медный провод, имеет более высокую электропроводность и прочность, чем у чистого алюминия, а электрические соединения обычно более надёжны, чем у чистого алюминия. Изделия из металлов и сплавов относятся к объектам экспертных исследований, представляющих наибольший интерес. С одной стороны, они в большинстве случаев сохраняются после пожара, с другой – происходящие в них изменения протекают в широком температурном диапазоне и могут быть зафиксированы многими аналитическими методами, такими как рентгенофазовый анализ. В данной статье исследованы изменения фазового состава омедненных алюминиевых проводников в температурном диапазоне 100 – 600°С и выдержках от 15 до 45 мин, методом рентгенофазового анализа. Установлено, что при температуре 300°С появляется новая фаза интерметаллид Al_2Cu , а дифракционный пик меди при отжиге 400°С полностью исчезает [1-6].

Ключевые слова: рентгенофазовый анализ, фаза, интерметаллиды, дифрактометр, дифрактограмма, омедненный алюминиевый проводник, биметаллический провод.

**INVESTIGATION OF THE PHASE COMPOSITION OF COPPER-PLATED ALUMINUM CONDUCTORS
EXPOSED TO THERMAL EFFECTS BY X-RAY PHASE ANALYSIS**

© 2022

Pariyskaya Anna Yuryevna, researcher of the department of calculative methods and informational technologies
in the fire expertise Fire Expertise Research Centre

Mokryak Anna Vasievna, researcher of the department of calculative methods and informational technologies
in the fire expertise Fire Expertise Research Centre

*Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
(193079, St. Petersburg, Oktyabrskaya emb., 35, e-mails: anna_par.74@mail.ru, mokryakanna@mail.ru)*

Abstract. Copper-coated aluminum wire (CCAW or CCA) is an electrical conductor consisting of an inner aluminum core and an outer copper shell. The demand for copper-plated wires is constantly growing, because this material is cheaper and lighter than pure copper wire, has higher electrical conductivity and strength than pure aluminum, and electrical connections are usually more reliable than pure aluminum. Products made of metals and alloys belong to the objects of expert research of the greatest interest. On the one hand, in most cases they persist after a fire, on the other hand, the changes occurring in them occur in a wide temperature range and can be recorded by many analytical methods, such as X-ray phase analysis. In this article, the changes in the phase composition of copper-plated aluminum conductors in the temperature range of 100-600° C and exposures from 15 to 45 minutes are investigated by X-ray phase analysis. It was found that at a temperature of 300° C, a new phase of Al_2Cu intermetallic compounds appears, and the diffraction peak of copper completely disappears during annealing at 400° C.

Keywords: X-ray phase analysis, phase, intermetallics, diffractometer, diffractogram, copper-plated aluminum conductor, bimetallic wire.

Введение. В последнее время для изготовления проводников все чаще используются более дешёвые материалы – алюминий или алюминий с медным покрытием (биметаллические провода). Биметаллические провода сочетают в себе характеристики двух металлов в одном композите. Алюминиевый провод с медным покрытием представляет собой электрический проводник, состоящий из внутреннего алюминиевого сердечника и внешней медной оболочки.

Объединение двух металлов в одном изделии позволяет совместить низкое удельное сопротивление медной внешней оболочки для проводимости и невесомость и дешёвизну сердечника из алюминиевого провода.

Омедненные алюминиевые провода относятся к объектам экспертных исследований, однако, в экспертной практике данные провода мало изучены и исследованы.

Как известно, при термическом воздействии биметаллических проводов, из-за диффузии между медью и алюминием образуются интерметаллические соединения (ИМС) [1, 18-20]. Из литературы [2, 13-16] известно, что при температуре 300 - 400°C в алюминиевых проволоках с медным покрытием вблизи границы *Cu/Al* могут образовываться интерметаллические микроструктуры Al_2Cu , $AlCu$ и Al_4Cu_9 , появление которых сопровождается процессом объемной диффузии.

Целью данной работы является получение информации об изменении фазового состава омедненных алюминиевых проводников при термическом воздействии, для оценки степени термического воздействия.

Материалы и результаты исследования. Образцы проводников нагревались в муфельной печи МИМП – 10 П с программным управлением. Воздействие внешнего тепла пожара моделировалось следующим образом: в не разогретую муфельную печь помещали образцы омедненных алюминиевых проводников без изоляции.

Отжиг проводников без изоляции проводился в муфельной печи при следующих условиях:

- температура нагрева: 100 – 600°C (с шагом 100°C);
- скорость нагрева: 15° град/мин;
- время выдержки образцов: 15, 30, 45 мин;
- охлаждение до комнатной температуры - медленное, при открытой дверце в муфельной печи.

Последовательность фазовых превращений исследовали посредством рентгенофазового анализа исходных образцов, а также образцов после нагрева от 100 до 600°C, с интервалом в 100° с выдержкой соответственно 15, 30 и 45 мин. Исследование проводилось на рентгеновском дифрактометре РАДИАН ДР-01.

Интервал углов составил 34 - 60°, шаг 0,05, экспозиция - 4. Данный интервал углов, при котором проводилась съемка был выбран как самый показательный с наиболее интенсивными пиками алюминия, меди и тех фаз, которые могут образоваться в результате реакции.

Фазовый состав омедненного алюминиевого проводника состоит из следующих фаз: алюминий ($d/n - 2.33$ и 2.02) и медь ($d/n - 2.08$ и 1.8). При нагревании возможно образование новых фаз: оксид меди ($d/n - 2.45$ и 2.12) и интерметаллида Al_2Cu [7-10, 12, 17].

В результате проведенного рентгенофазового анализа исследуемых образцов были получены дифрактограммы и проведена их расшифровка.

По результатам расшифровки установлено, что в исходном образце на дифрактограмме присутствуют дифракционные пики с аналитическими линиями: $d/n-2,35$ и $2,03$ принадлежащие *Al*, а также линии $d/n-2,10$ и $1,8$ принадлежащие меди *Cu* (рис. 1).

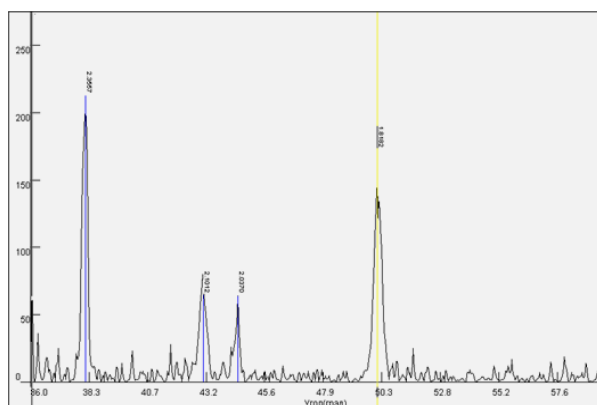


Рисунок 1 – Дифрактограмма исходного образца

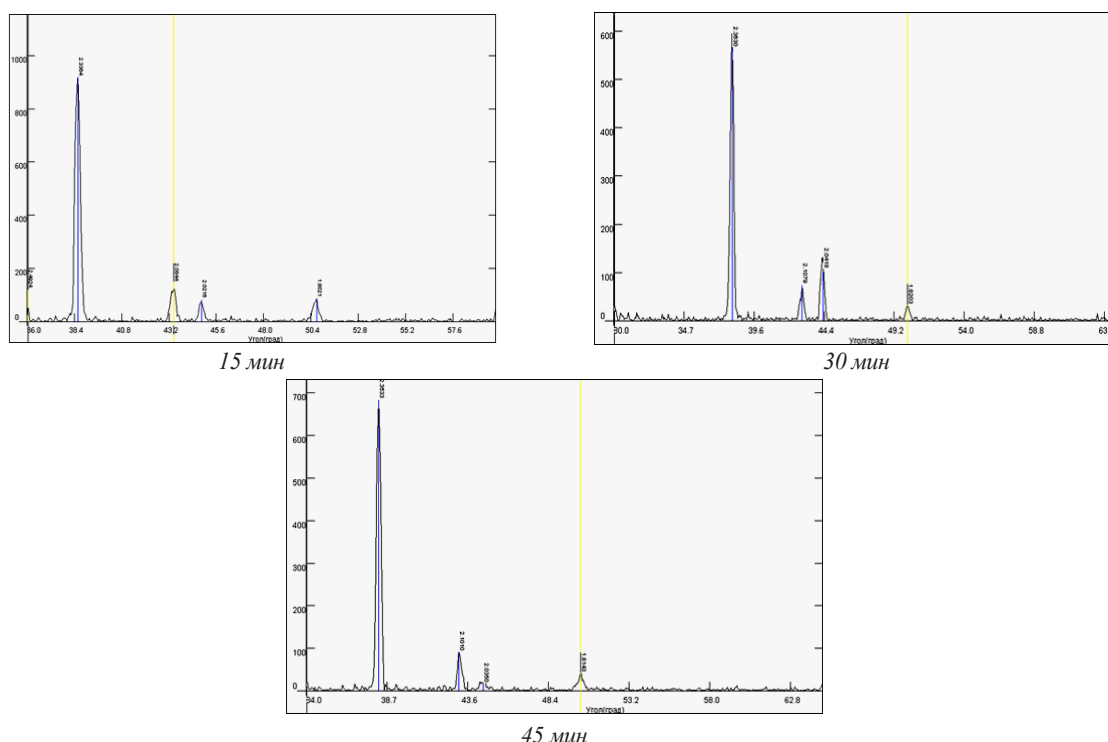


Рисунок 2 – Дифрактограмма образца отожженного при 100°C и различной выдержке

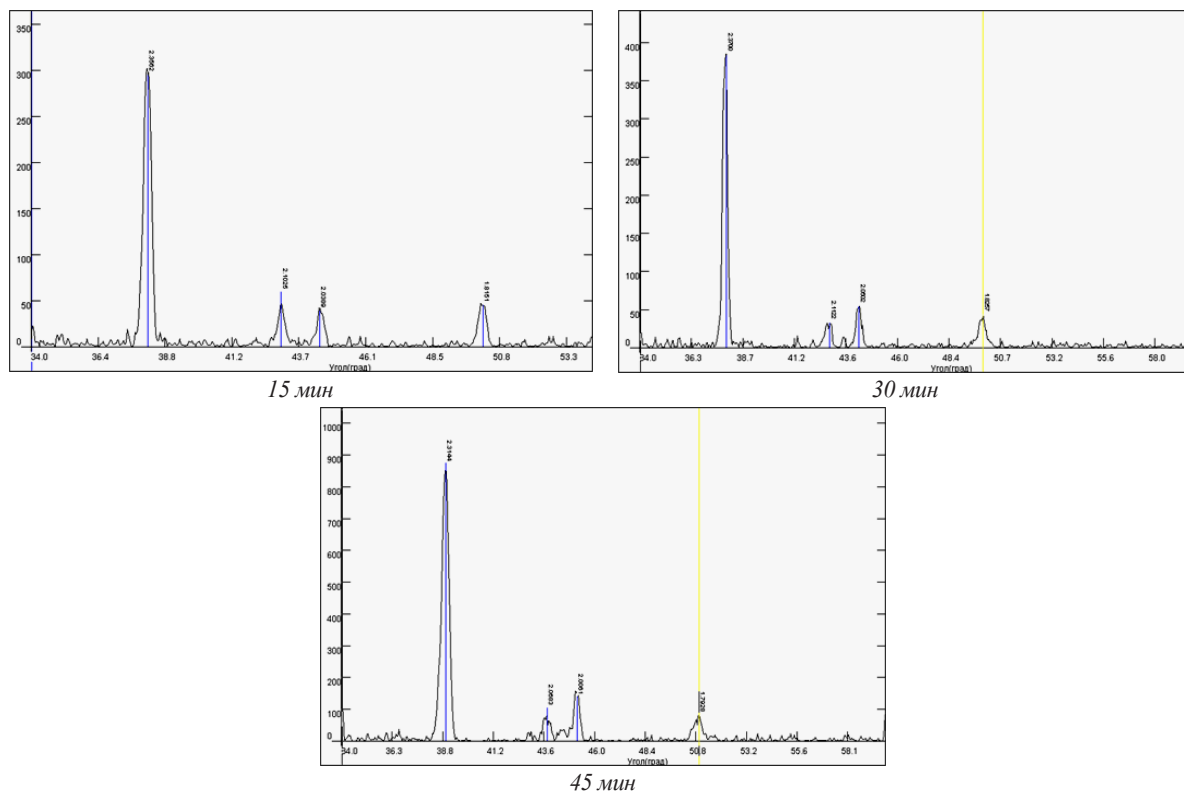


Рисунок 3 – Дифрактограмма образца отожженного при 200°C и различной выдержке

На дифрактограммах отожженных проводов при 100 и 200°C видно, что присутствуют те же пики, что и в исходном образце (рис. 2, 3). Время выдержки при этих температурах не оказывает влияние на фазовый состав проводников.

Фазовые превращения начинаются при температуре 300°C и выдержке 45 мин. и далее. Появляется новая фаза – интерметаллид Al_2Cu [3,4]. Основные аналитические линии этого соединения: $d/n - 2.37$; $d/n - 2.14$; $d/n - 1.91$ (рис. 4).

Последующее повышение температуры вплоть до 600°C не отражалось на дифракционной картине, т.е. фазовый состав остается неизменным (рис. 5).

При нагреве омедненных алюминиевых проводников, обнаружено последовательное формирование новой фазы Al_2Cu . Образование данной фазы, достаточном для идентификации, обнаружено при температуре 300°C и выдержке 45 мин. При этой же температуре и выдержке полностью исчезают дифракционные пики меди (табл. 1).

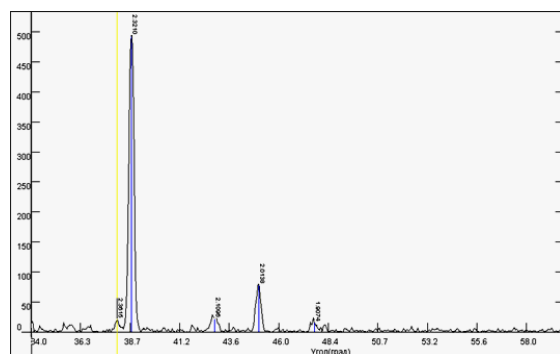


Рисунок 4 – Дифрактограмма образца отожженного при 300°C

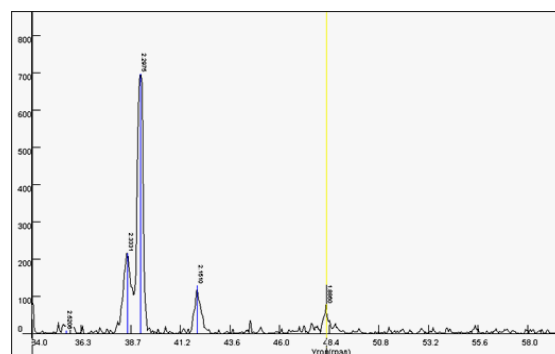


Рисунок 5 – Дифрактограмма образца отожженного при 600°C.

Таблица 1 – Фазы присутствующие в омедненных проводниках при нагреве

Фаза T°C	100			200			300			400			500			600			
	15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45	15	30	45	
Cu	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Al_2Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Заключение. Как показали данные рентгенофазового исследования, при температурах от 100 до 200°C, проводник не претерпевает каких-либо изменений, на дифрактограммах присутствуют четкие дифракционные максимумы алюминия и меди. При отжиге 300°C на дифрактограммах появляются дифракционные максимумы интерметаллического соединения Al_2Cu . Дифракционные пики меди полностью исчезают при отжиге 400°C.

Таким образом, полученные данные об изменении фазового состава, позволяют определить степень термического воздействия на омедненные алюминиевые проводники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гуров К.П., Карташкин Б.А., Угасте Ю.Э. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. М.: Наука, 1981. 352 с.
2. A. Gueydan, B. Domengès, P. A. Dubois & E. Hug Thermokinetic analysis of intermetallic growth in copper clad aluminium wires // Materials Research Innovations, Volume 17(2), 2013, p.124-128.
3. Свойства слоистых интерметаллидных композитов системы Cu-Al, полученных по комплексной технологии / Ю. П. Трыков, В. Г. Шморгунов, О. В. Слаутин, С. А. Абраменко // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2004. – № 5. – С. 51–55.
4. Шморгунов В.Г., Кулевич В.П., Савченко В.В. Механизм контактного плавления в системе Al-Cu // Ж. Известия Волгоградского государственного технического университета, № 2 (181), 2016, с. 21-24.
5. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электроннооптический анализ: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. – М.: МИСИС, 2002. – 360с.
6. M.R. Toroghinejad, R. Jamaati, J. Dutkiewicz, J.A. Szpunar Investigation of nanostructured aluminum/copper composite produced by accumulative roll bonding and folding process Mater. Des., 51 (2013), pp. 274-279.
7. H. Zhang, X. Dong Experimental and numerical studies of coupling size effects on material behaviors of polycrystalline metallic foils in microscale plastic deformation Mater. Sci. Eng. A, 658 (2016), pp. 450-462.
8. T. Sasaki, R. Morris, G. Thompson, Y. Syarif, D. Fox Formation of ultra-fine copper grains in copper-clad aluminum wire Scr. Mater., 63 (5) (2010), pp. 488-491
9. K. Rhee, W. Han, H. Park, S. Kim Fabrication of aluminum/copper clad composite using hot hydrostatic extrusion process and its material characteristics Mater. Sci. Eng. A, 384 (1) (2004), pp. 70-76
10. Y. Guo, G. Qiao, W. Jian, X. Zhi Microstructure and tensile behavior of Cu-Al multi-layered composites prepared by plasma activated sintering Mater. Sci. Eng. A, 527 (20) (2010), pp. 5234-5240
11. Шморгунов, В.Г. Влияние высокотемпературной термообработки на структуру и механические свойства медно-алюминиевых и титано-стальных СКМ/ В.Г. Шморгунов, Ю.П. Трыков, О.В. Слаутин, Д.Ю. Донцов, С.А. Абраменко // Новые перспективные материалы и технологии их получения. НПМ–2007: Сб. науч. тр. междунар. конф./ ВолгГТУ и др. – Волгоград, 2007. – С. 239–240.
12. Трыков, Ю.П. Исследование особенности деформирования при холодной прокатке сваренного взрывом медно-алюминиевого трехслойного СКМ/ Ю.П. Трыков, В.Г.
13. T. Jin, G. Li, Y. Cao, R. Xu, S. Shao, B. Yang Experimental research on applying the copper-clad aluminum tube as connecting tubes of air conditioners Energy Build., 97 (2015), pp. 1-5
14. L. Kuncicka, R. Kocich, K. Dvorak, A. Machackova Rotary swaged laminated Cu-Al composites: effect of structure on residual stress and mechanical and electric properties Mater. Sci. Eng. A, 742 (2019), pp. 743-750
15. Шморгунов, В.Г. Оптимизация процесса формирования переходной зоны в медноалюминиевом интерметаллидном композите, полученном с помощью комплексной технологии/ В.Г. Шморгунов, Ю.П. Трыков, О.В. Слаутин, С.А. Абраменко // Новые перспективные материалы и технологии их получения (НПМ) – 2004: Сб. науч. тр. Междунар. науч. конф./ ВолгГТУ и др. – Волгоград, 2004. – Т.П. – С. 265–266.
16. Шморгунов, О.В. Слаутин, В.М. Волчков, С.А. Абраменко // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: Матер. II Всерос. конф., г. Камышин, 20-23 мая 2003 г. / Камышин. технол. ин-т (филиал) ВолгГТУ и др. - Камышин, 2003. - Т.1. - С. 229-230.
17. Трыков, Ю.П. Механические свойства СКМ системы Cu-Al с рассредоточенными интерметаллидными фрагментами на межслойных границах/ Ю.П. Трыков, В.Г.
18. Шморгунов, С.А. Абраменко, О.В. Слаутин // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. III Всерос. конф., г. Камышин./ КТИ (филиал) ВолгГТУ и др. - Камышин, 2005. - Т.2. - С. 63-64.
19. Шморгунов, В.Г. Механические свойства медно - алюминиевого СИК в интервале температур 20-950 град. / В.Г. Шморгунов, Ю.П. Трыков, С.А. Абраменко // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. III Всерос. конф., г. Камышин/ КТИ (филиал) ВолгГТУ и др. - Камышин, 2005. - Т.2. - С. 74-75.
20. Слаутин, О.В. Механические свойства слоистой интерметаллидной медноалюминиевой композиции при повышенных температурах/ О.В. Слаутин, С.А. Абраменко, В.Г. Шморгунов, Ю.П. Трыков // VIII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: Тезисы докладов / ВолгГТУ и др. - Волгоград, 2004. С. 164-166.

Статья поступила в редакцию 21.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 631.61:504

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0029

**АДАПТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРАСНОДАРСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА**

© 2022

Кузнецов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой гидравлики и с-х. водоснабжения**Хаджиби Анна Евгеньевна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидравлики и с-х. водоснабжения**Моторная Лариса Васильевна**, аспирант факультета гидромелиорации**Тратникова Анастасия Алексеевна**, магистрант факультета гидромелиорации*Кубанский Государственный Аграрный Университет имени И. Т. Трубилина
(350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13,**e-mails: dtn-kuz@rambler.ru, dtn-khanna@yandex.ru, alenatr1999@mail.ru)*

Аннотация. Разработана ресурсосберегающая адаптированная технология восстановления мелководных участков водных объектов и восстановления участков, заросших деревьями и кустарником, для создания надводных широкопрофильных полей по таксонам для накопления необходимого объема воды для нужд сельского и рыбного хозяйства. Исследования представлены на примере Краснодарского водохранилища и основаны на массивах статистических данных по отложению наносов. Намыв надводных широкопрофильных полей заданной формы осуществляется земснарядами из-под уровня на мелководье в акватории водного объекта с устойчивыми мокрыми откосами, где в качестве материала используются донные отложения, часть которых закачиваются в фильтрующие тубы, устраиваемых по периметру широкопрофильных полей. Фильтрующие тубы используются для устройства полей заданной формы в акватории водного объекта, а также служат ограждением широкопрофильных полей от размыва мокрых откосов. Между полями устраиваются протоки для накопления необходимого объема воды. Разработанные мероприятия, позволят увеличить емкость водохранилища на 25-30%, решить проблему обеспечения безопасности и водообеспеченности, сохранить инвестиционную привлекательность и обеспечить социально-экономический рост Кубанского региона.

Ключевые слова: Краснодарское водохранилище, ресурсы, деградация, технология, широкопрофильные поля, земснаряд, донные отложения.

**ADAPTED TECHNOLOGY FOR RESTORATION OF THE KRASNODAR RESERVOIR TO ENSURE
ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE REGION**

© 2022

Kuznetsov Evgeny Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation, head of the department of Hydraulics and Agricultural Engineering**Khadzhibi Anna Evgenevna**, doctor of technical sciences, professor of the department of Hydraulics and Agricultural Engineering**Motornaya Larisa Vasilievna**, postgraduate student of the Faculty of Hydromelioration**Tratnikova Anastasia Alekseevna**, undergraduate student of the Faculty of Hydromelioration*Kuban State Agrarian University University named after I.T. Trubilina
(350044, Russia, Krasnodar, Kalinina st., 13,**e-mails: dtn-kuz@rambler.ru, dtn-khanna@yandex.ru, alenatr1999@mail.ru)*

Abstract. A resource-saving adapted technology has been developed for restoring shallow areas of water bodies and restoring areas overgrown with trees and shrubs to create surface wide-profile fields according to taxa to accumulate the required amount of water for the needs of agriculture and fisheries. The studies are presented on the example of the Krasnodar reservoir and are based on arrays of statistical data on sedimentation. Alluvium of above-water wide-profile fields of a given shape is carried out by dredgers from under the level in shallow water in the water area of a water body with stable wet slopes, where bottom sediments are used as a material, some of which are pumped into filter tubes arranged along the perimeter of wide-profile fields. Filtering tubes are used to arrange fields of a given shape in the water area of a water body, and also serve as a barrier for wide-profile fields from erosion of wet slopes. Channels are arranged between the fields to accumulate the required volume of water. The developed measures will increase the reservoir capacity by 25-30 %, solve the problem of ensuring safety and water supply, maintain investment attractiveness and ensure the socio-economic growth of the Kuban region.

Keywords: Krasnodar reservoir, resources, degradation, technology, wide-profile fields, dredger, bottom sediments.

Введение. Глобальное изменения климата ставит под угрозу наше будущее, влияние изменений на истощение водных ресурсов, может привести к необратимым последствиям, например, при истощении Красно-

дарского водохранилища дефицит возникнет не только в воде, но и в продовольствии [1]. Пагубное влияние на водохранилище также идет от неправильной эксплуатации стока реки Кубань и ее притоков [2]. Современное состояние водохранилища ставит под угрозу экологическую и социальную безопасность региона [3]. Обеспечение экологической и социальной безопасности является важной и необходимой предпосылкой для решения экономических, социальных, политических и других проблем государства [4-6]. Замедлить или частично остановить процессы деградации наиважнейшая задача следующего десятилетия [7].

Представления о динамических процессах деградации остаются актуальными на протяжении многих десятилетий [8, 9]. Деградация Краснодарского водохранилища процесс, происходящий под действием природных и антропогенных факторов, который можно замедлить, продлив срок службы водохранилища применяя современные технологии, ориентируясь на социальную значимость и экологическую безопасность [10].



Рисунок 1 – Современное состояние чаши Краснодарского водохранилища

Уменьшение площади водохранилища за 47 лет в среднем составило – 1,64 км²/год. Обмеление водохранилища продолжается на 0,05 м/год. Прирост мелководья составляет – 2 км²/год. Реки, впадающие в водохранилище, несут со стоком около 13 млн. т/год наносов. В перспективе объем наносов увеличится на 650 млн. т [11]. Переработка берегов от эрозии может прибавить около 50 млн. т. По этой причине площадь мелководных участков значительно возрастет, что приведет к более интенсивной деградации чаши водохранилища.

В ближайшие 30-50 лет без выполнения комплексных мероприятий приведет к утрате Краснодарского

Объект исследования. Краснодарское водохранилище обеспечивает водой территорию Нижней Кубани, на которой сосредоточен рисовый комплекс площадью 250 тыс. га, водоснабжение г. Краснодара. Водохранилище служит для защиты г. Краснодара от паводков. Во время паводка 2002 г. оно спасло г. Краснодар от затопления, но при этом, были частично затоплены города Армавир, Новокубанск, Гулькевичи, Хатукайская долина республики Адыгея.

Эксплуатационная площадь водного зеркала Краснодарского водохранилища сократилась на 85 км² и составляет на данный момент 300 км². При этом, средняя глубина не превышает 4,4 м против проектной глубины – 7 м. Ёмкость водохранилища уменьшилась более чем на 350 млн. м³. Площадь мелководья выросла до 100 км².

При впадении р. Белой в водохранилище на площади около 35 км² выросли леса и кустарники, Тщикское водохранилище отделилось от общей чаши, на акватории образуются острова, развивается водно-болотная растительность (рис. 1).

водохранилища:

- Тщикское водохранилище станет лиманом, зарастет лесом, а свободные места покроются водно-болотной растительностью;

- река Белая создаст лиманную пойму с разветвленной сетью ериков и проток до соединения с р. Кубанью;

- остальные левобережные реки (Псекупс, Марта, Апчас, Пшиш и др.) присоединятся к более мощным лиманам;

- на возвышенных участках возникнут леса, которые будут регулярно подтапливаться, территория местами превратится в болота;

– зеркало Краснодарского водохранилища будет находиться у земляной плотины и займет примерно его 1/10 часть.

Социально-экономическая значимость Краснодарского водохранилища и прилегающих территорий велика: это сохранение водохозяйственного комплекса, развитие агропромышленного комплекса, включающего выращивание риса, создание новых оросительных систем, развитие современного рыбоводства, сохранение рыбных запасов Кубани. А также покрытие дефицита водных ресурсов при глобальном потеплении климата.

Данную проблему можно решить путем нестандартных комплексных технологий, которые обеспечат сохранение и предотвращение деградации чаши Краснодарского водохранилища.

Цель исследования. Разработать комплекс мероприятий по очистке донных отложений для утилизации на широкопрофильных полях Краснодарского водохранилища (комплексную ресурсосберегающую адаптированную технологию восстановления мелководных участков, подверженных деградации от донных отложений путем создания надводных широкопрофильных полей и протоков в чаше водохранилища для накопления объема стока; технология восстановления участков водохранилища заросших деревьями и кустарником для создания надводных широкопрофиль-

ных полей в чаше водохранилища и проток для накопления объема стока).

Материалы и результаты исследования. Краснодарское водохранилище разбивается на таксоны 1 прямоугольной формы (рис. 2). Таксоны формируются в виде широкопрофильных полей и участков расчистки от донных отложений. Размеры проток широкопрофильных полей зависят от объема расчистки водного объекта. Намыв надводных широкопрофильных полей заданной формы осуществляется земснарядами из-под уровня на мелководье в акватории водного объекта с устойчивыми мокрыми откосами, где в качестве материала используются донные отложения, часть которых закачиваются в фильтрующие тубы, устраиваемых по периметру широкопрофильных полей [12] (рис. 3).

Фильтрующие тубы используются для устройства полей заданной формы в акватории водного объекта, а также служат ограждением широкопрофильных полей от размыва мокрых откосов [13]. Между полями устраиваются протоки для накопления необходимого объема воды. Размеры расчистки донных отложений в протоках определяются таким образом, чтобы обеспечить достаточную ёмкость для накопления полезного объема воды. Тубы укладываются по трассе периметра широкопрофильного поля на мелководье, на дно и закрепляются анкерами 6 от перемещения через равные расстояния (рис. 4).

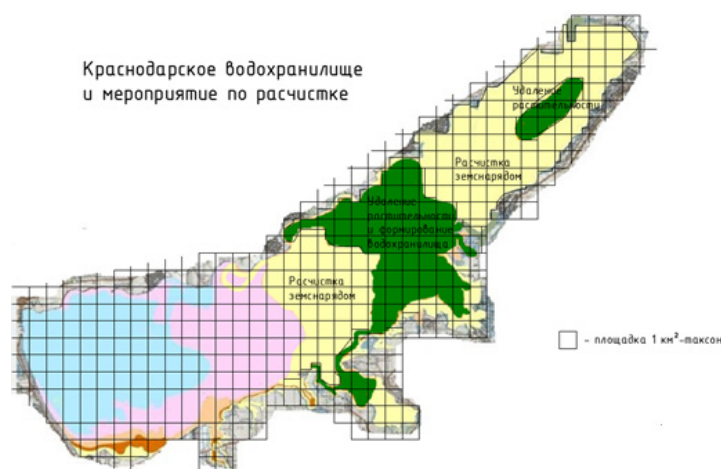


Рисунок 2 – Схема исследования ложа водохранилища

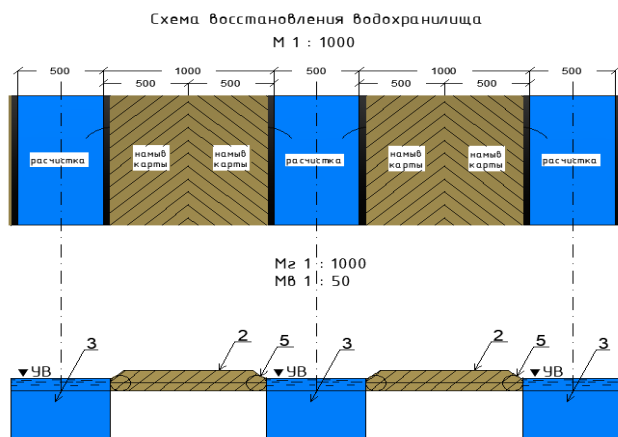


Рисунок 3 – Схема работы земснаряда по формированию полей в чаше Краснодарского водохранилища

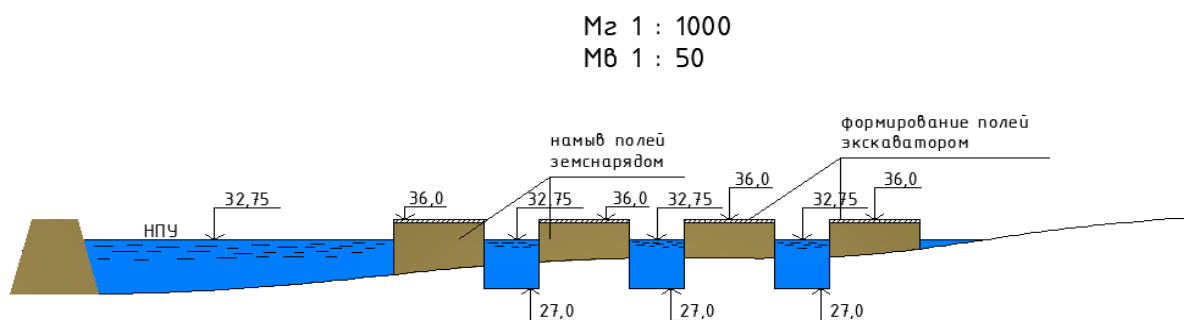


Рисунок 4 – Схема полей после проведения мероприятий по расчистке

Выполняется заполнение тубы земснарядом песчаными донными отложениями по периметру для придания ограждающей формы широкопрофильного поля. Туба под весом донных отложений тонет и занимает проектное положение на дне мелководья, обеспечивая замкнутое пространство равное размеру широкопрофильному полю. Формирование широкопрофильных полей производится по картам намыва из-под воды с двух сторон, начиная от середины поля к краю тубы, отвод воды с поля выполняется общеизвестными способами. Для ускорения отделения осадка от воды применяется коагулянты.

Технологический результат достигается адаптацией таксонов в акватории водного объекта в виде прямоугольных участков, которые чередуются по порядку: широкопрофильное поле; протока. Широкопрофильные поля ограждаются фильтрующими тубами выше уровня и разбиваются на карты намыва, которые заполняются донными отложениями от центра к периферии.

Экология проекта. Фильтрующие тубы обеспечивают очистку воды путем фильтрации через песчаный наполнитель [14, 15]. При наличии в водном объекте глинистых отложений часть карт намыва используется для отстоя и очистки воды, которые затем заполняются пульпой. Широкопрофильные поля устраиваются выше нормального подпорного уровня в акватории водного объекта, где обеспечивается утилизация донных отложений. Между широкопрофильными полями разрабатываются протоки глубиной достаточной для увеличения полезной ёмкости водного объекта. Все работы по устройству широкопрофильных полей и проток выполняются земснарядами.

Новизна технического решения состоит в организации таксонов прямоугольной формы в акватории водного объекта, которые чередуются по порядку: широкопрофильное поле; протока. В строительстве широкопрофильных полей выше отметки нормального подпорного уровня с устройством водных протоков для увеличения полезной ёмкости водного объекта. В устройстве фильтрующих туб на мелководье, образованном донными отложениями, которое утилизируется из проток в широкопрофильные поля.

Комплексная ресурсосберегающая адаптированная технология восстановления участка водохранилища, заросших деревьями и кустарником. Расчистка

водохранилища и устройство широкопрофильных полей производится экскаватором обратной лопата ёмкостью ковша 2 м³ с погрузкой в автотранспорт 10 т.

Технология расчистки водохранилища от донных отложений включает удаление растительности, и строительство широкопрофильных полей шириной 1 км и длиной в зависимости от рельефа местности. Срезка кустарников и раскорчёвка деревьев. Фреза + экскаватор 2 м³. На 1 км² в среднем 62500 шт. деревьев, площадь расчистки 1 км². Утилизация растительности: деловая древесина 31 тыс. м³. Кустарник и ветки утилизируются в отвалах. Разработка грунта из-под воды 4,0 млн. м³ на площади 1 км². Погрузка в автотранспорт 10 т. Отметка поверхности разровненных отвалов 36,0 м. Разравнивание грунта бульдозером 2,0 млн. м³. Планировка поверхности полей 1 км².

Водохранилище разбивается на таксоны [16]. По периметру таксона устраиваются валы для осушения участков, которые чередуются широкопрофильное поле – протока. Формирование полей производится экскаваторами, грунт разрабатывается между полями для устройства проток. Формирование широкопрофильных полей и проток производится по схеме (рис. 2).

Комплексное использование Краснодарского водохранилища позволяет эффективно решать глобальные проблемы Кубанского региона, которые особенно остро встали перед человечеством в настоящее время, и связаны с обеспечением водой населения, промышленности, сельского хозяйства, борьбой с наводнениями, с применением экологически чистых источников электроэнергии, таких как возобновляемые гидроэнергетические ресурсы.

Динамика роста водопотребления в мире характеризуется его интенсивным ростом. В целом объём водопотребления за 25 лет практически увеличилось в 2 раза и требуется ещё больше водных ресурсов [17, 18]. Однако, полезная ёмкость Краснодарского водохранилища не растёт, а катастрофически продолжает сокращаться.

Разработанные в проекте мероприятия, позволяют увеличить ёмкость водохранилища на 25-30%, решить проблему водообеспеченности, сохранить инвестиционную привлекательность и обеспечить социально-экономический рост Кубанского региона.

Заключение. Рекультивация донных отложений

один из важнейших вопросов по эксплуатации Краснодарского водохранилища. Разработаны мероприятия по рекультивации донных отложений путем создания широкопрофильных полей, которые разбиваются на таксоны.

Новизна технологического решения состоит в организации таксонов в акватории водного объекта, которые чередуются по порядку: широкопрофильное поле; протока. В строительстве широкопрофильных полей выше отметки нормального подпорного уровня с устройством водных протоков для увеличения полезной ёмкости водного объекта. В устройстве фильтрующих труб на мелководье, образованном донными отложениями, которое утилизируется из проток в широкопрофильные поля.

В результате анализа была разработана комплексная ресурсосберегающая адаптированная технология восстановления мелководных участков земснарядами, а также технология восстановления участков водохранилища, заросших деревьями и кустарником для создания надводных широкопрофильных полей по таксонам в чаше водохранилища для накопления необходимого объема воды для нужд сельского и рыбного хозяйства выполняются параллельно.

Разработанные мероприятия, позволят увеличить емкость водохранилища на 25-30%, решить проблему обеспечения безопасности и водообеспеченности, сохранить инвестиционную привлекательность и обеспечить социально-экономический рост Кубанского региона.

Важным в данном проекте является не просто предотвращение экологического ущерба, но и дальнейшее его замедление и где-то частичная остановка деградирующих процессов, а значит дальнейшее полезное использование Краснодарского водохранилища в сельскохозяйственных нуждах.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы Кубанского ГАУ №15 «Разработка ресурсосберегающих адаптированных технологий охраны от загрязнений отходами сельскохозяйственных земель предприятиями АПК» № 121032300049-7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Яковлева Е. Н. Уточнение категориального аппарата методологии управления природно-климатическими рисками в России / Яковлева Е.Н. // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2018. Т. 17. № 2. С. 283-309.
2. Дементьева Д. М. Предпосылки трансграничного экологического кризиса водного тракта Кубань-Маньч / Дементьева Д. М., Дементьев М. С. // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 9. С. 837-841.
3. Малышева Н. Н. К вопросу развития мелиорации на Кубани и водообеспеченности посевов сельскохозяйственных культур / Н.Н. Малышева, С.В. Кизинек, А.А. Баранов, О.Н. Каданцев // Научно-практический журнал «Пути повышения эффективности орошаемого земледелия». – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», вып. № 2 (82)/2021. – С. 10-16
4. Кулик К. Н., Рулев А. С. и Юфев В. Г. (2015). Геоинформационный анализ динамики опустынивания на территории Астраханской области. Засушливые экосистемы, 5(3), 134-141. doi:10.1134/S2079096115030087
5. Скитер, Н., Рогачев, А. Ф., & Мазаева, Т. И. (2015). Моделирование экологической безопасности государства.

Средиземноморский журнал социальных наук, 6(36), 185-192. doi:10.5901/mjss.2015.v6n3s6p185.

6. Методические подходы к формированию и реализации региональной экологической политики. Ферару Г.С., Растворцев А.Ф., Благодырёва А.М. Вопросы государственного и муниципального управления. 2011. № 1. С. 27-36.

7. Кирюшин В. И. Научные предпосылки оптимизации использования земельных ресурсов / В. И. Кирюшин // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. №4. С.7 – 10.

8. Chen, Yu., J. Siwicki, S. Gao, I. Overim and A.J. Kettner (2012), Socio-economic consequences of floods: 4000-year History of the Yellow River, China, AMBIO, 41(7), 682-698, doi: 10.1007/s13280-012-0290.

9. Лобковский В. А. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России / В. А. Лобковский, О. В. Андреева, Г. С. Куст // Известия российской академии наук. Серия географическая. 2022. т. 86. № 1. С. 9-27.

10. Малышева, Н.Н. Развитие мелиорации на Кубани и рациональное водопользование при орошении риса / Н.Н. Малышева, С.Н. Якуба // Рисоводство № 4 (37). - Краснодар, 2017 - С. 47-56.

11. A. Degioanni, M. A. Reinero. Bathymetry of lagoons using remote sensing: adjustments of the emptiico model in the southeast of Cordoba, Argentina. 2002. Pp. 89-95.

12. Трубилин А.И., Кузнецов Е.В., Хаджиби А.Е.; Кубанский ГАУ. Способ рекультивации водных объектов и утилизации донных отложений. Патент № 2756963 РФ, МПК С1, 07.10.2021. Заявка № 2020144336 от 30.12.2020. Бюл. №28.

13. Annandale, G.W. (2011), Coming Full Circle, Int. Hydroelectric dam construction, 2011, 30-34.

14. Uciechowska-Grakowicz, A.; Herrera-Granados, O. Riverbed Mapping with the Usage of Deterministic and Geo-Statistical Interpolation Methods: The Odra River Case Study. Remote Sens. 2021, 13, 4236. https://doi.org/10.3390/rs13214236.

15. Han, F.; Wang, K.; Sun, J.G. The influence of irregular seafloor topography on the seismic wave field and migration imaging. Acta. Oceanol. Sin. 2019, 38, 151–158.

16. Auel, S., T. Berchtold and R. Boes (2010), Sediment management in a solid reservoir using a bypass tunnel, in Proceedings of the 8th Symposium of the European ICOLD Club, Innsbruck, Austria. E02B 3/02 (2021.08).

17. Фролов, М.Б. К вопросу дефицита водных ресурсов на Кубани для использования в сельскохозяйственном производстве / Дорошев И.А., Н.Н. Малышева // Сборник научных трудов по итогам IV международной научно-практической конференции «Новые тенденции развития сельскохозяйственных наук» - г. Ростов – на - Дону, 11 августа 2017 г. – С. 24-26

18. Evgeny Kuznetsov, Anna Khadzhibi, Larisa Motornay, Kharlampiy Kilidi, Maxim Filimonov. Method of restoring water level of small rivers / E3S Web of Conferences 273, 05007 (2021) INTERAGROMASH 2021. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127305007.

Статья поступила в редакцию 22.01.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 621

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0030

ПРИРОДНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ: ФАКТОРЫ ПЕРЕНОСА И ОЦЕНКИ ДОЗЫ

©2022

Юданов Петр Максимович, кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры механики и инженерной графики
Академия гражданской защиты МЧС России
(141435, Московская обл., г. Химки, мкр. Новогорск)

Аннотация. Данная работа относится к области контроля и мониторинга коэффициентов переноса радионуклидов в корнеплоды и их концентрации в пищевых продуктах для предотвращения ЧС радиационного характера в целях защиты населения и территорий от поражающих факторов ионизирующего излучения. Результатами данной статьи можно считать усовершенствованную методику гамма-спектроскопического анализа почвенных радионуклидов, а также рассчитанные средние значения концентрации активности для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в 80 ± 41 , 56 ± 12 , 516 ± 119 Бк/кг, рассчитанные значения коэффициентов переноса в 0,03, 0,11 и 0,31 соответственно. Результаты данной работы будут полезны контролирующим органам подразделений МЧС России и предприятий сельского хозяйства определения средних уровней активности радионуклидов в культивируемых корнеплодах, а также для сравнения и статистики методов культивации. Важнейшими методами, использовавшимися в данной работе, являлись методы математической статистики и векторной визуализации гистограмм. Для визуализации было использовано программное обеспечение и пакет программ *Excel* и *SciLab*. Концентрации активности естественных радионуклидов в свёкле и картофеле были оценены в двух важнейших сельскохозяйственных регионах Российской Федерации (Смоленская область и республика Мордовия) вместе с образцами почвы, забираемых из почвы с различной глубины в соответствии с залеганием корневой системы исследуемых корнеплодов.

Ключевые слова: системы дозиметрического контроля, коэффициенты переноса, источник излучения, дозиметрический контроль корнеплодов, радиационные чрезвычайные ситуации.

NATURAL RADIONUCLIDES IN ROOT AND SOIL OF THE RUSSIAN FEDERATION: FACTORS OF TRANSFER AND ASSESSMENT OF DOSE

©2022

Yudanov Petr Maksimovich, candidate of technical sciences,
senior lecturer of the department of Mechanics and Engineering drawing
Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia
(141435, Moscow region, city of Khimki, Novogorsk location)

Abstract. This work relates to the field of control and monitoring of the transfer coefficients of radionuclides into root crops and their concentration in food products to prevent radiation emergencies in order to protect the population and territories from the damaging factors of ionizing radiation. The results of this article can be considered the improved method of gamma-spectroscopic analysis of soil radionuclides, as well as the calculated average values of the activity concentration for ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in 80 ± 41 , 56 ± 12 , 516 ± 119 Bq / kg, the calculated values of the transfer coefficients in 0, 03, 0.11 and 0.31, respectively. The results of this work will be useful to the regulatory bodies of the EMERCOM of Russia and agricultural enterprises in determining the average levels of radionuclide activity in cultivated root crops, as well as for comparing and statistics of cultivation methods. The most important methods used in this work were the methods of mathematical statistics and vector visualization of histograms. *Excel* and *SciLab* software and software packages were used for visualization. The concentration of the activity of natural radionuclides in beets and potatoes was estimated in two most important agricultural regions of the Russian Federation (Smolensk region and the Republic of Mordovia) together with soil samples taken from the soil at different depths in accordance with the occurrence of the root system of the studied root crops.

Keywords: dosimetric control systems, transfer coefficients, radiation source, dosimetric control of root crops, radiation emergencies.

Введение. Встречающиеся в природе радиоактивные материалы содержат природные радионуклиды, такие как ^{238}U , ^{232}Th и их продукты-потомки, и ^{40}K всегда находятся в окружающей среде. Эти природные источники радиации являются одними из самых высоких факторов воздействия радиации на население [1]. Однако искусственные радионуклиды также присутствуют в окружающей среде. Это результат

испытаний ядерного оружия и ядерных аварий. Перенос радионуклидов через окружающую среду различными путями, такими как атмосфера, водные системы и подземные слои почвы, также способствует воздействию радиации на человека. Однако высокий процент воздействия радиации на человека происходит из-за поглощения растительности, посаженной в естественной среде [1-7].

Исследование поглощения радионуклидов из почвы растениями становится необходимым в связи с их большим вкладом в дозу внутреннего облучения человека и в понимании факторов, влияющих на процесс поглощения. Таким образом, в последние годы во всем мире возрос интерес к определению факторов переноса радионуклидов (*TFS*) из почвы в растения [3-10]. Следовательно, необходимо определить и оценить активность различных радионуклидов, присутствующих в почве, и их содержание в различных образцах пищевых продуктов.

В РФ картофель и свёкла являются одними из наиболее потребляемых культур после овса, пшеницы и кукурузы. Свёкла широко используется в пищевой продукции: листья – для приготовления салатов, корневища – для салатов, супов, закусок, напитков (в том числе кваса) и даже десертов. В 2016 году по оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН РФ произвела 31,1 миллион тонн картофеля, что не может не говорить о важности данной культуры для нашего государства. В том же году общая площадь 1 млн. га была отведена под производство свёклы с потенциальным урожаем 44,1 миллиона тонн [11]. В последние несколько лет несколько исследователей изучали различные аспекты радиоактивности почвы и растений в РФ [6-7, 12-14]. В этом исследовании была рассмотрена концентрация активности ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почве, корнеплодах свёклы и картофеля в Смоленской области и республике Мордовия. Кроме того, были рассчитаны факторы переноса от почвы до этих растений. Результат должен предоставить важную информацию о содержании радиоактивности в картофеле и свёкле, широко потребляемых в РФ, а также поглощении ими радионуклидов.

Целью данного исследования являлось установление соответствия концентраций радиоактивных изотопов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почве и среднегодовых эффективных доз облучения пределам общемировых диапазонов, а также совершенствование методики гамма-спектроскопического анализа почвенных радионуклидов.

Материалы и результаты исследования. Образцы почвы и корнеплодов были взяты с плантации в двух разных областях: в Смоленской области и республике Мордовия. На рисунке 1 показана карта с расположением мест отбора проб. В этих областях картофель и свёкла производятся с использованием развивающихся методов, которые в значительной степени являются сравнительными. Большая часть сортов развивается в сухих условиях, поле остается сухим во время посадки [8-10]. Фермеры не практикуют севооборот, и одни и те же культуры выращиваются на одних и тех же полях из года в год. Местные агрономы выращивают эти корнеплоды, используя близлежащие водные ресурсы, а также следуя традиционным методам вспашки, кондиционирования и посадки. Большинство фермеров используют комплексные удобрения, азотные, фосфорные и калийные удобрения (*NPK*) 15-15-15 и *NPK* 13-13-21, наиболее доступные

типы на рынке. Максимальная норма внесения удобрений составляет 50-80 г на 1 кв. м. [10, 12]



Рисунок 1 – Местонахождение сбора образцов проб

Сбор и подготовка проб. Образцы почвы были собраны в местах, указанных на рисунке 1. Все образцы почвы были собраны на глубине 10-20 см от поверхности [2]. В каждой области было определено шесть точек отбора проб, в общей сложности ~12 точек. В каждом месте образцы почвы (а также образцы растений) были собраны в трех экземплярах (три образца ~5 кг каждый) и были обработаны и проанализированы отдельно. Затем средние значения, полученные из этих трех выборок, были взяты для представления данных для соответствующего местоположения. Точки отбора проб были пронумерованы от 1 до 12 (*P1-P12*), соответствующие 12 исследованным местоположениям. Образцы почвы были помечены последовательно: от *P1* до *P6* в Республике Мордовия и от *P7* до *P12* в Смоленской области. Образцы почвы были высушены при 110°C в течение 24 часов в духовке для удаления влаги и сырости. После этого высушенные образцы почвы измельчали и просеивали в сито диаметром 1 мм. Затем образец массой 1000 г поместили в стандартный 1-литровый сосуд Мариелли. Образцы были плотно запечатаны и хранились в течение ~30 дней до измерения, чтобы обеспечить достижение весового равновесия для ^{238}U , ^{232}Th их соответствующими продуктами [11].

Образцы растений были собраны во время сезона урожая, когда в каждом месте было собрано большое количество образцов. Как и в случае с образцами почвы, образцы растений были собраны в трех экземплярах, при этом начальный размер образца варьировался от 3 до 5 кг. Образцы были промыты дистиллированной водой для удаления любых загрязнений, а несъедобные части были удалены. Затем клубни были использованы для дальнейшего анализа.

После клубни измельчали, сушили в духовке в течение ~ 48 часов при постоянной температуре около 90°C до достижения постоянного веса. Высушенные образцы затем измельчали в блендере и просеивали с помощью сита диаметром 1 мм и хранили в плотно закрытом 1-литровом сосуде Маринелли не менее 30 дней до измерений.

Измерения активности образцов почвы и растений. Для измерения концентраций активности в этом исследовании использовался детектор высокой чистоты *p*-типа германия ОЧГ (HPG) (Канберра, Инс.) [4]. Детектор имеет разрешение 1,9 кэВ при 1333 кэВ линии гамма-излучения ⁶⁰Co и относительную эффективность 40% по сравнению с 3×3 NaI на линии 133 кэВ. Для измерения и анализа использовалось программное обеспечение MAESTRO. ОЧГ экранирован 3,5 см свинца, чтобы уменьшить фон гамма-излучения. [12]. Детектор был откалиброван как по энергопотреблению, так и по эффективности с использованием стандартных протоколов и сертифицированного мульти-гамма-источника, имеющего матрицу, аналогичную матрице образцов. Мульти-гамма-источник содержит радионуклиды ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ¹⁵²Eu, ²²Na и ¹³³Ba, которые охватывают диапазон энергий от 59,54 до 1408,30 кэВ [19-20].

Все образцы были измерены в течение 24 часов.

Таблица 1 – Концентрации активности (бк/кг сухого веса) для ²³²Th, ²²⁶Ra и ⁴⁰K в образцах овощей и почвы. Также перечислены TFS радионуклидов из почвы в овощи

Растение	Область	Точка Сбора	Концентрация активности (бк/кг) в сухой почве			Концентрация активности (бк/кг) в сухих овощах			Рассчитанный TF Бк.кг ⁻¹ сухие овощи/Бк.кг ⁻¹ сухая почва			
			²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Картофель	Республика Мордовия	P1	72 ± 3	67 ± 4	648 ± 94	2.8 ± 0.9	10 ± 2	211 ± 36	0.039	0.15	0.33	
		P2	59 ± 2	44 ± 6	437 ± 66	2.9 ± 0.8	8 ± 2	141 ± 56	0.049	0.18	0.32	
		P3	79 ± 8	54 ± 7	543 ± 45	2.4 ± 0.9	4 ± 1	208 ± 43	0.030	0.07	0.38	
		P4	75 ± 8	54 ± 9	453 ± 96	1.8 ± 0.5	5 ± 1	150 ± 34	0.024	0.09	0.33	
	Смоленская область	P7	72 ± 12	54 ± 16	457 ± 111	1.5 ± 0.5	7 ± 1	170 ± 41	0.021	0.13	0.37	
		P8	77 ± 10	63 ± 7	747 ± 148	1.5 ± 0.2	6 ± 1	160 ± 36	0.019	0.10	0.21	
		P9	49 ± 3	49 ± 4	540 ± 87	1.7 ± 0.4	5 ± 2	108 ± 30	0.035	0.10	0.20	
		P10	74 ± 3	63 ± 8	481 ± 79	1.5 ± 0.5	4 ± 1	149 ± 44	0.020	0.06	0.31	
		Среднее значение:								0.030	0.11	0.31
										0.028 ± 0.011	0.11 ± 0.04	0.31 ± 0.09
Свёкла	Республика Мордовия	P5	63 ± 9	38 ± 4	371 ± 56	2.3 ± 0.6	6 ± 2	121 ± 41	0.037	0.16	0.33	
		P6	54 ± 10	37 ± 5	468 ± 54	2.0 ± 0.2	6 ± 1	92 ± 31	0.037	0.16	0.20	
	Смоленская область	P11	88 ± 15	75 ± 3	373 ± 79	1.8 ± 0.2	6 ± 1	159 ± 52	0.020	0.08	0.43	
		P12	207 ± 31	69 ± 10	676 ± 31	1.6 ± 0.2	5 ± 1	240 ± 114	0.008	0.07	0.36	
	Среднее значение								0.025	0.12	0.33	
Среднее значение всех показателей			80 ± 41	56 ± 12	516 ± 119	2.0 ± 0.5	6 ± 2	153 ± 49	0.028 ± 0.011	0.11 ± 0.04	0.31 ± 0.09	

Результаты концентраций радиоактивности природных радионуклидов: ²³²Th, ²²⁶Ra и ⁴⁰K в образцах почвы, свёклы и картофеля представлены в таблице 1.

Все концентрации активности указаны в Бк/кг в пересчете на сухой вес. Как видно из таблицы 1, концентрации активности ²²⁶Ra для всех образцов почвы были сопоставимы, за исключением образца из местоположения P12 в Смоленской области (с концентрацией активности 207 Бк/кг).

Диапазон концентрации активности ²²⁶Ra для всех образцов почвы составлял 54-207 Бк/кг при среднем значении (±SD) 80 ± 41 Бк/кг. Аналогичным образом, концентрации активности ²³²Th и ⁴⁰K не показали существенных различий в зависимости от местоположения.

Диапазон концентраций активности ²³²Th и ⁴⁰K составлял (в Бк/кг): 37-75 и 371-747 соответственно.

Концентрация радиоактивности ²²⁶Ra была рассчитана по средневзвешенному значению концентраций активности продуктов ее распада: ²¹⁴Pb (линии 295,22 и 351,93 кэВ) и ²¹⁴Bi (линии 609,31 и 1120,28 кэВ). Аналогично, концентрация активности ²³²Th была принята за средневзвешенное значение продуктов ее распада ²¹²Pb (линия 238,63 кэВ), ²²⁸Ac (линии 911,20 и 968,97 кэВ) и ²⁰⁸Tl (линия 583,19 кэВ). Концентрация активности ⁴⁰K была рассчитана непосредственно с использованием ее гамма-излучения 1460,83 кэВ.

Расчеты факторов переноса радионуклидов (TF). Факторы переноса данного радионуклида используются для описания поглощения этого радионуклида из почвы в конкретное растение. В этом исследовании интерес представляют радионуклиды ²³²Th, ²²⁶Ra и ⁴⁰K в свёкле и картофеле (в данном случае клубней). Как правило, концентрация активности радионуклида в растении считается линейно зависимой от концентрации в почве, и следовательно, фактор переноса определяется как соотношение двух концентраций активности: TF [15-18]:

$$TF = C_p / C_s \quad (1)$$

Где C_p и C_s – концентрации радиоактивности растения и почвы соответственно. Все концентрации радиоактивности, указанные здесь, указаны в Бк/кг сухого веса как почвы, так и овощей [18].

Соответствующие средние значения концентраций активности (в Бк/кг) (±SD) были следующими: 56 ± 12 и 516 ± 119. Здесь следует отметить, что результаты не показали существенной зависимости от региона выборки.

Закключение. Нужно подчеркнуть, что средние концентрации активности естественной радиоактивности в почве, указанные здесь, несколько выше, чем средневзвешенное значение для населения мира, сообщенное Научным комитетом Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН) 2000 (1), для ²³²Th (56 / 45 Бк/кг) и ⁴⁰K (516 / 420 Бк/кг) и значительно выше, чем сообщенное значение ²²⁶Ra (80 / 32 Бк/кг). Однако по сравнению с сообщенными значениями в РФ, приведенными в том же отчете, концентрации активности ²²⁶Ra и ²³²Th находятся в пределах заявленных диапазонов 38-94 Бк/кг и

63-110 Бк/кг соответственно.

Концентрация активности ^{40}K , однако, выше, чем средняя концентрация активности в почве РФ в 310 Бк/кг, о которой сообщает UNSCEAR 2000 [1]. Это ожидаемо, поскольку исследуемая здесь почва является сельскохозяйственной, она обрабатывается удобрениями, и это, как известно, приводит к увеличению концентрации калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Валуев Н.П., Пушкин И.А., Лысова О.В. Аппаратура для высокопроизводительного контроля радиационной обстановки // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. №2. С. 21–24
2. Валуев Н.П., Лысова О.В., Никоненков Н.В., Пушкин И.А. Радиационный контроль движущихся транспортных средств с помощью высокочувствительных дозиметрических систем // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2011. №4. С. 36–40
3. David Michael Pfund, Robert C. Runkle, Kevin K. Anderson, and Kenneth D. Jarman, Examination of Count-Starved Gamma Spectra Using the Method of Spectral Comparison Ratios, IEEE Transact. Nucl. Sci., Vol. 54/4/2007
4. W. R. Leo, "Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments", New York: Springer-Verlag, 1987, pp. 157–163.
5. MCNP X-5 Monte Carlo Team, MCNP - A General Purpose Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA UR 03 1987, Los Alamos National Laboratory, April 2003. The MCNP5 code can be obtained from the Radiation Safety Information Computational Center (RSICC), P. O. Box 2008, Oak Ridge, TN, 37831-6362.
6. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сергеев И.Ю., Стасишин Л.А. Радиационный контроль транспортных средств с помощью переносных приборов и стационарных систем. Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. 2015. С.35-39.
7. Валуев Н.П., Лысова О.В., Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2015. №3. С. 47-50.
8. Валуев Н.П., Пушкин И.А., Стасишин Л.А. Повышение эффективности контроля наземных транспортных средств высокочувствительных дозиметрических систем // ГРУЗО-ВИК. – 2013. – №8. – С. 44-48.
9. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Сергеев И.Ю., Стасишин Л.А. Радиационный контроль транспортных средств с помощью переносных приборов и стационарных систем // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Грузовик». – 2015. – №9. – Москва: ООО «Издательство Машиностроение». – С. 35-39
10. Сергеев И.Ю., Гарелина С.А., Латышенко К.П., Валуев Н.П. Математическое моделирование дозиметрических систем контроля // Научно-аналитический журнал: «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – 2020. – № 1 (16). – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – С. 64-68.
11. Валуев Н.П., Сергеев И.Ю. Способ определения местоположения источника радиации в транспортном средстве при динамическом контроле // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2016. – №2. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России. – С. 70-75.
12. Сергеев И.Ю., Валуев Н.П. Способ определения местоположения источника радиации в транспортном средстве при динамическом контроле. Научный журнал «Научные и образовательные проблемы гражданской защиты». – 2016, № 2, с.70-75.
13. Сергеев И.Ю. Предложения по способам контроля радиационной обстановки для системы комплексной безопасности закрытого административного территориального образования с объектами атомной промышленности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2016. – №1. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России. – С.63–71.
14. Валуев Н.П., Лысова О.В., Сергеев И.Ю. Оценка рисков радиационных инцидентов при динамическом контроле движущихся объектов. // Сборник докладов XX Международной научно-практической Конференции по проблемам защиты населения и территории от чрезвычайных ситуаций «Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий». Москва, 2015 года. С. 169-171.
15. Сергеев И.Ю., Пашинин В.А., Валуев Н.П., Косырев П.Н. Способ аэродинамического контроля радиационной обстановки. Технологии гражданской безопасности. ВНИИ-ГОЧС МЧС России (ФИЦ) Том 15, 2018, № 4 (58). С. 84-87.
16. Сергеев И.Ю. Выбор методики определения вероятности обнаружения радиационной аномалии при динамическом контроле радиационной обстановки // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 1 (12). С. 8-11.
17. Валуев Н.П., Никоненков Н.В., Стасишин Л.А. Автомобильная система динамического радиационного мониторинга территорий. «Грузовик» – 2017, №2, С. 37-41.
18. Марков Г.С., Онищенко Ю.А., Щеголькова В.В., Макарова М.Ю. Особенности жизненного цикла аварийно-спасательной техники // Технологии гражданской безопасности - 2014. - №2. -Том: 11 - С.76-80
19. Виноградов А.Ю., Баканов С.В., Потапенко Ю.П. Анализ современных и перспективных аварийно-спасательных машин, инструментов и приборов для оснащения формирований РСЧС и подготовки спасателей // Технологии гражданской безопасности -2007. - №2. -Т. 4 - С.103-107
20. Марков Г.С. Актуальные направления в развитии аварийно-спасательной техники и технологий. // Технологии гражданской безопасности - 2009. - №3-4. - Т. 6 - С.187-190

Статья поступила в редакцию 08.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 628.517.2

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0031

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА КАНАЛОВ В ОТРАЖАТЕЛЬНОМ ГЛУШИТЕЛЕ НА ЕГО АКУСТИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ

© 2022

Плисына Ольга Витальевна, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Управление безопасностью в техносфере»

Российский университет транспорта

(127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, e-mail: plitsa@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы борьбы с шумом вентиляционных систем. Представлены преимущества глушителей без звукопоглощающего материала, как в вытяжных, так и в приточных системах механической вентиляции. Для воздуховодов с размерами поперечного сечения более 500 мм показана универсальность отражательных глушителей многощелевой схемы. Многощелевые конструкции реализуются при разделении воздуховода листами, изогнутыми ступенеобразно или углообразно, на каналы, у которых один из габаритных размеров существенно меньше двух других. Отмечена важность выявления связи между акустической характеристикой многощелевого отражательного глушителя и акустическими характеристиками его каналов. Для многощелевой конструкции со ступенеобразно изогнутыми листами рассчитано снижение шума одиночными каналами различного типа, а также снижение шума двухщелевым, трехщелевым и одиннадцатещелевым устройствами. Анализ возможностей устройств показал, что акустическая характеристика многощелевого отражательного глушителя со ступенеобразно изогнутыми листами определяется акустической характеристикой сочетания трех его каналов, начиная с крайнего. Для многощелевой конструкции с углообразно изогнутыми листами определено снижение шума неразделенным поворотом, а также поворотом, составленным из двух поворотов, и поворотом, составленным из шестнадцати поворотов. Анализ возможностей устройств свидетельствует, что акустическая эффективность многощелевой конструкции с углообразно изогнутыми листами складывается из акустической эффективности поворота воздуховода, акустических эффективностей составленных поворотов и акустической эффективности неразделенного поворота. Полученные результаты позволяют существенно упростить проектирование многощелевых отражательных глушителей.

Ключевые слова: шум, глушитель, вентиляционная система, многощелевая схема, изогнутые листы, каналы, участок сужения, участок расширения, поворот воздуховода, акустическая характеристика.

INFLUENCE OF THE NUMBER OF DUCTS IN THE REFLECTIVE SILENCER ON ITS ACOUSTIC CHARACTERISTIC

© 2022

Plitsyna Olga Vital'evna, ph.d. of Engineering Science, assistant professor of Safety management in the technosphere
Russian University of Transport

(127994, Russia, Moscow, Obraztsova st., 9, build. 9, e-mail: plitsa@yandex.ru)

Abstract. The paper deals with the issues of noise control in ventilation systems. The silencers' without sound-absorbing material advantages both in exhaust and supply ventilation systems are presented. The universality of reflective silencers having multi-slit scheme is shown for air ducts with cross-section's dimensions of more than 500 mm. Multi-slit devices are carried out by dividing with stepped or angled curved sheets the air duct into ducts, in which one of the overall dimensions is significantly less than the other two. The importance of identifying the relationship between multi-slit reflective silencer acoustic characteristics and its ducts acoustic characteristics is noted. In relation to a multi-slit design with stepped curved sheets the noise reduction in single ducts of various types as well as the noise reduction in two-slit, three-slit and eleven-slit devices is calculated. Analysis of the devices abilities showed that acoustic characteristic of the multi-slit reflective silencer with stepped curved sheets is determined by acoustic characteristic of the three ducts combination, starting from the silencer's edge. In relation to the multi-slit design with angled curved sheets the noise reduction in undivided turn as well as the noise reduction in the turn made up of two turns and the noise reduction in the turn made up of sixteen turns is determined. Analysis of the devices abilities indicates that acoustic efficiency of the multi-slit design with angled curved sheets consists of acoustic efficiency of air duct turn, acoustic efficiency of composed turns and acoustic efficiency of undivided turn. The obtained results significantly simplify the designing of the multi-slit reflective silencers.

Keywords: noise, silencer, ventilation system, multi-slit scheme, curved sheets, ducts, narrowing section, expansion section, air duct turning, acoustic characteristic.

Введение. Одним из обязательных средств защиты от шума систем механической вентиляции являются глушители [1-4].

Известно, что преимуществом отражательных глушителей в местных вытяжных вентиляционных

системах является отсутствие звукопоглощающего материала, забивание и замазывание пор которого сопровождается потерей акустической эффективности [5-7].

Однако отсутствие пористого звукопоглощающего материала проявляется как преимущество отража-

тельных глушителей и в приточных вентиляционных системах, поскольку повысились требования к качеству очистки и дезинфекции этих систем [8, 9].

К универсальным глушителям шума вентиляционных систем, имеющих воздухопроводы с размерами поперечного сечения более 500 мм, могут быть отнесены отражательные глушители многощелевой схемы [10-12].

Многощелевые конструкции выполняются с помощью изогнутых листов, разделяющих воздухопровод на каналы, у которых один из габаритных размеров существенно меньше двух других и предупреждает возникновение первой моды.

Форма изгиба листов определяет набор элементов, отражающих звук, в канале:

- ступенеобразно изогнутые листы образуют чередующиеся сужения и расширения (рис. 1а);
- углообразно изогнутые листы образуют прямоугольный поворот (рис. 2а).

Для упрощения проектирования многощелевых отражательных конструкций, внутри которых учитывается трехмерное звуковое поле, были установлены пропорции каналов, обеспечивающие требуемую акустическую эффективность и аэродинамическую приемлемость глушителей в конкретных вентиляционных системах [13]. Тем не менее, рекомендации по проектированию необходимо дополнить [14-19] уточнением влияния количества каналов конструкции на ее эффективность. Выполнить расчеты акустических характеристик сравниваемых конструкций позволяет инвариантность разработанной [20] алгоритмической модели отражательного глушителя к форме, параметрам и количеству каналов.

Целью работы является установление связи между акустической характеристикой многощелевой конструкции и акустическими характеристиками ее каналов.

Задачи работы:

- выявление каналов, акустическая характеристика которых определяет акустическую характеристику многощелевой конструкции со ступенеобразно изогнутыми листами;
- рассмотрение соотношения между акустической эффективностью каналов и акустической эффективностью многощелевой конструкции с углообразно изогнутыми листами.

Материалы и результаты исследования. В многощелевой конструкции со ступенеобразно изогнутыми листами сочетаются каналы трех типов (рис. 1б):

- каналы первого типа начинаются с участка сужения;
- каналы второго типа начинаются с участка расширения;
- каналы третьего типа начинаются с участка усеченного расширения.

Смежные каналы многощелевой конструкции – разнотипные.

Были рассчитаны акустические характеристики (рис. 1в-д) следующих устройств:

- одиночных каналов первого, второго и третьего типа;
- двухщелевой конструкции с каналами первого и второго типа;
- трехщелевой конструкции с двумя каналами первого типа и одним каналом второго типа;
- трехщелевой конструкции с каналами первого, второго и третьего типа;
- одиннадцатещелевой конструкции с пятью каналами первого типа, четырьмя каналами второго типа и двумя каналами третьего типа.

Акустические характеристики каналов первого, второго и третьего типа отличаются друг от друга, указывая на существование в многощелевой конструкции менее удачной геометрии канала.

В акустической характеристике сочетания каналов их разнотипность проявляется следующим образом:

- различие между снижением шума двухщелевой конструкцией и ее каналами составляет 1-9 дБ;
- различие между снижением шума двухщелевой и трехщелевой конструкциями составляет 1-3 дБ;
- различие между снижением шума трехщелевой и одиннадцатещелевой конструкциями отсутствует.

Следовательно, акустическая характеристика многощелевой конструкции со ступенеобразно изогнутыми листами определяется акустической характеристикой сочетания трех каналов, начиная с крайнего.

Многощелевая конструкция с углообразно изогнутыми листами представляет собой поворот прямоугольного воздухопровода поперечных размеров более 500 мм, разделенный (рис. 2б) на несколько поворотов.

Были рассчитаны акустические характеристики следующих устройств (рис. 2в):

- неразделенный поворот, у которого один из габаритных размеров существенно меньше двух других;
- поворот, объединяющий два поворота, у которых один из габаритных размеров существенно меньше двух других;
- поворот, объединяющий шестнадцать поворотов, у которых один из габаритных размеров существенно меньше двух других.

Неразделенный широкий поворот имеет максимальную акустическую эффективность – 6.0 дБ – на частоте, для которой его высота равна 0.5 длины звуковой волны. Поворот, объединяющий два неразделенных поворота, имеет ровную акустическую эффективность – 6.0 дБ – в частотном диапазоне, для границ которого высота составленного поворота и высота неразделенных поворотов равны 0.5 длины звуковой волны. Следовательно, в многощелевой конструкции с углообразно изогнутыми листами повороты, составленные в более крупный поворот, не влияют на его эффективность. Поворот, объединяющий шестнадцать неразделенных поворотов, имеет ровную акустическую эффективность – 6.0 дБ – в широком частотном диапазоне: от частоты, для которой высота поворота воздухопровода равна 0.5 длины звуковой волны, до частоты, для которой высота неразделенных поворотов равна 0.5 длины звуковой волны.

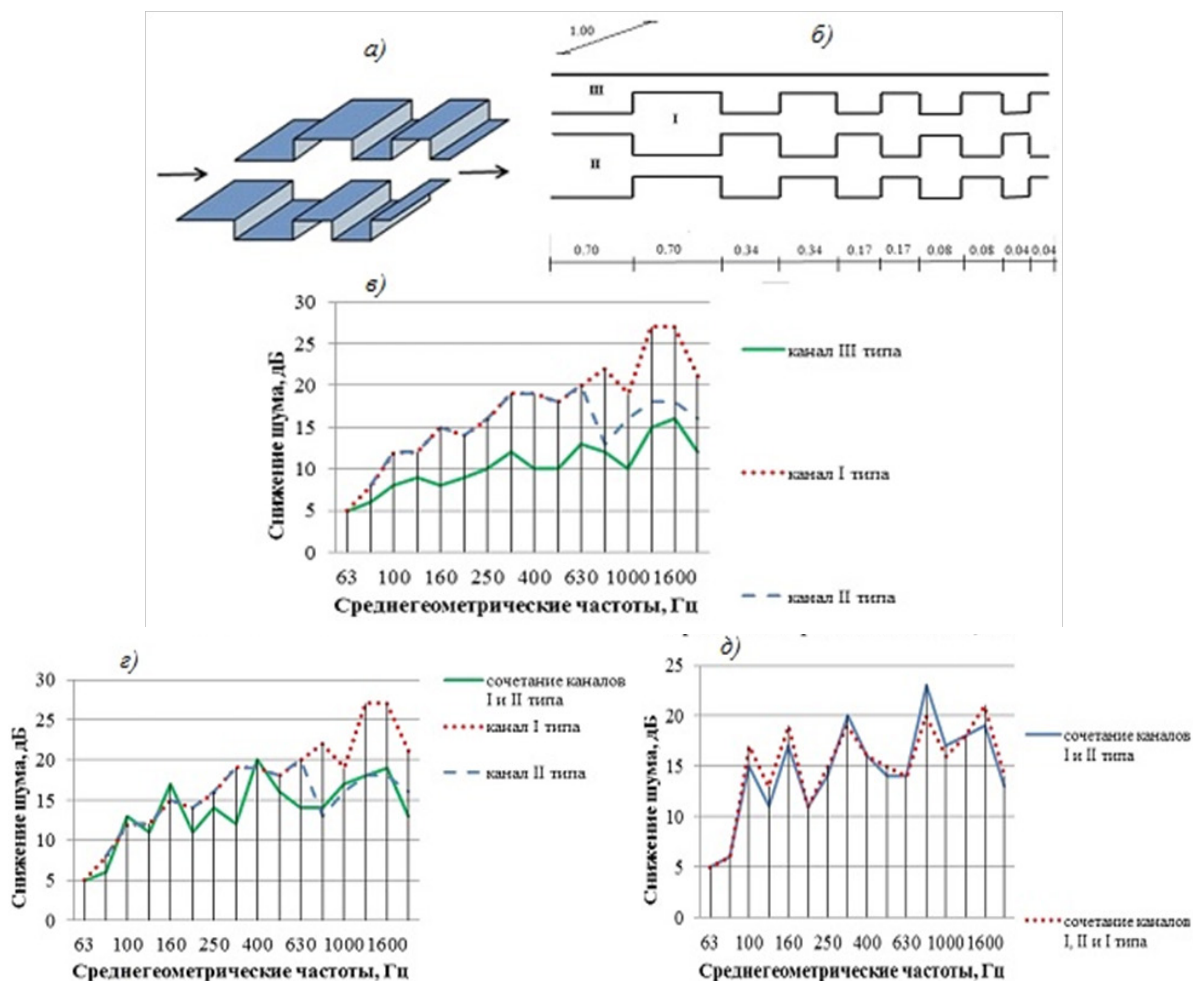


Рисунок 1 – Многощелевая конструкция со ступенеобразно изогнутыми листами: а – форма изгиба листов; б – каналы конструкции; в – акустические характеристики каналов; г – акустические характеристики двухщелевой конструкции; д – акустические характеристики трехщелевой конструкции

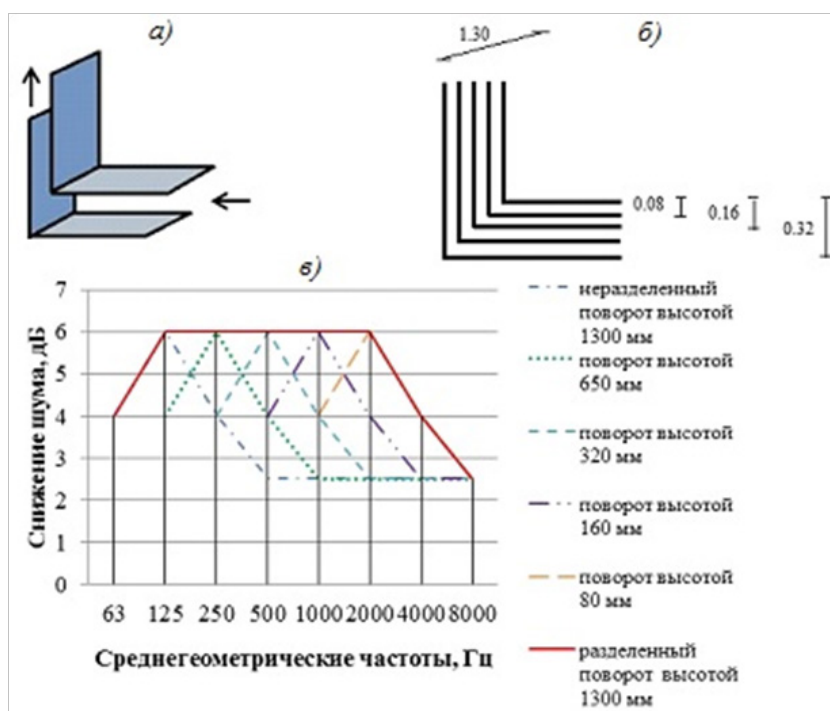


Рисунок 2 – Многощелевая конструкция с углообразно изогнутыми листами: а – форма изгиба листов; б – разделение поворота воздуховода; в – акустические характеристики поворотов

Таким образом, акустическая эффективность многощелевой конструкции с углообразно изогнутыми листами складывается из акустической эффективности поворота вентиляционного воздуховода, акустических эффективностей составленных поворотов и акустической эффективности неразделенных поворотов.

Заключение. Полученные данные позволяют ввести рекомендации, существенно упрощающие проектирование многощелевых отражательных глушителей:

– в глушителе со ступенеобразно изогнутыми листами допустимо рассчитывать только три смежных канала, начиная с крайнего;

– разделение поворота воздуховода углообразно изогнутыми листами обеспечивает ровное широкополосное снижение шума в частотном диапазоне, для границ которого высота поворота воздуховода и высота поворотов, образованных изогнутыми листами, равна 0.5 длины звуковой волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кобзарь Д.Д., Вельбель А.М., Олейников А.Ю. Особенности акустического расчёта систем вентиляции // *Noise Theory and Practice*. 2018. № 14. С. 41-45.
2. Nakan A., Kirby R., Malecki C. Theoretical and experimental investigation of acoustic performance of multi-chamber reactive silencers // *Applied Acoustics*. 2019. Vol. 157. 106987.
3. ГОСТ 31328-2006 (ИСО 14163:1998) Шум. Руководство по снижению шума глушителями. М.: Стандартинформ, 2008. 42 с.
4. Защита от шума. Свод правил. СП 51.13330.2011 (Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003). М.: Проспект, 2017. 64 с.
5. Yaqiang X., Guoyong J., Chuanmeng Ya. Isogeometric analysis for geometric modelling and acoustic attenuation performances of reactive mufflers // *Computers & Mathematics with Applications*. 2020. Vol. 79. Is. 12. P. 3447-3461.
6. Fonseca de Lima K., Dea Cirino Ph., Barbi N. Multi-frequency sequential and simultaneous parametric shape optimization of reactive silencers // *Applied Acoustics*. 2020. Vol. 171. 10754.
7. Xue F., Sun B. Experimental study on the comprehensive performance of the application of U-shaped corrugated pipes into reactive mufflers // *Applied Acoustics*. 2018. Vol. 141. P. 362-370.
8. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. (Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003). М., 2021. 156 с.
9. Kashikar A., Suryawanshi R., Savant S. Development of muffler design and its validation // *Applied Acoustics*. 2021. Vol. 180. 108132.
10. Zhang Yo., Wu P., Xue J. Analysis on acoustic performance and flow field in the split-stream rushing muffler unit // *Journal of Sound and Vibration*. 2018. Vol. 430. P. 185-195.
11. Elsayed A., Bastien C., Kassem H. Investigation of baffle configuration effect on the performance of exhaust mufflers // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2017. Vol. 10. P. 86-94.
12. Плицына О.В., Рогова Т.Н. Противопожарная конструкция глушителей // *Техносферная безопасность*. 2019. Т. 3(24). С. 73-77.
13. Плицына О.В., Рогова Т.Н. Характеристики глушителя щелевой конструкции // *Вестник НЦБЖД*. 2019. № 4(42). С. 159-163.
14. Шахматов Е.В., Иголкин А.А., Свербилов В.Я., Стадник Д.М., Илюхин В.Н. Исследование характеристик регулятора давления газа с глушителем шума // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2021. № 6. С. 10-20.
15. Gaonkar C.D., Rao D.R., Munjal M.L. End corrections for double-tuning of the same-end inlet-outlet muffler // *Applied Acoustics*. 2019. Vol. 159. 107116.
16. Kyeom Lee J., Lee I., Woo Lee J. Reliability-based acoustical topology optimization of mufflers under noise frequency and temperature uncertainties // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021. Vol. 160(9). 107854.
17. Kyeom Lee J., Seung Oh K., Woo Lee J. Methods for evaluating in-duct noise attenuation performance in a muffler design problem // *Journal of Sound and Vibration*. 2019. Vol. 464. 114982.
18. Shen C., Hou L. Numerically estimating acoustic transmission loss of a reactive muffler with and without mean flow // *Measurement*. 2017. Vol. 109. P. 168-186.
19. Shen C., Hou L. Comparison of various algorithms for improving acoustic attenuation performance and flow characteristic of reactive mufflers // *Applied Acoustics*. 2017. Vol. 116. P. 291-296.
20. Plitsyna O., Rogova T. Selecting the parameters of the reactive silencer for exhaust ventilation systems // *Akustika*. 2019. Vol. 34. P. 85-87.

Статья поступила в редакцию 01.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0032

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОСЫЛОК КОРРУПЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ НАДЗОРНЫХ ОРГАНОВ И БИЗНЕСА В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

©2022

Раскошный Илья Антонович, студент специальности «Экономика»

Фоминых Анна Олеговна, студент специальности «Пожарная безопасность»

Просин Максим Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферной безопасности

Турова Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферной безопасности

Кемеровский государственный университет

(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6,

e-mails: i.raskoshny@gmail.com, fominyh.anna1102@mail.ru, prosinmv@yandex.ru, natalya_turova@inbox.ru)

Аннотация. В данной статье представлен краткий обзор изменений в законодательстве Российской Федерации в области пожарной безопасности в 2021 году, отражено отношение к ним представителей надзорных органов, некоммерческих организаций, бизнеса. На основании мнений экспертов охарактеризована степень и вектор влияния данных изменений на участников рынка: норма закона движется в сторону ужесточения правил. В рамках данного ужесточения становится более вероятно усиление коррупционного взаимодействия между предпринимателями и представителями надзорных органов. Проблема деловой коррупции в сфере обеспечения пожарной безопасности является особенно острой, так как от ее решения напрямую зависит безопасность общества. Помочь приблизиться к решению данной проблемы может понимание механизма принятия решения индивидом о даче/получении взятки. Для этого с опорой на предпосылки, которыми оперирует поведенческая экономика, были тезисно объяснены принципы работы механизма принятия решений предпринимателем и пожарным инспектором о даче/получении взятки. На основе анализа статистических данных был составлен перечень наиболее распространенных нарушений требований правил пожарной безопасности со стороны бизнеса, описана специфика работы пожарного инспектора. С целью подтверждения полученных тезисов о принципах работы механизма принятия решений, была сформирована выборка из 10 реальных уголовных дел, возбужденных за период с 2015 по 2020 год по ст. 290 УК РФ в отношении пожарных инспекторов. Анализ данной выборки позволил выделить ряд общих тенденций, свойственных рассмотрению подобных дел судом. По результатам исследования на основе выбранного теоретического подхода и выделенных тенденций предложены рекомендации по минимизации фактов коррупционного взаимодействия в среде пожарных инспекторов.

Ключевые слова: законодательство в области пожарной безопасности, пожарный надзор, инспектор пожарного надзора, предприниматель, пожарная безопасность, уголовное дело, получение взятки, поведенческая экономика, коррупционное взаимодействие, нарушение правил пожарной безопасности.

STUDY OF THE PREREQUISITES OF CORRUPTION INTERACTION OF REPRESENTATIVES OF SUPERVISORY BODIES AND BUSINESS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY

©2022

Raskoshny Ilya Antonovich, student speciality «Economy»

Fominykh Anna Olegovna, student speciality «Fire safety»

Prosin Maksim Valerievich, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Technosphere Safety

Turova Natalya Nikolaevna, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Technosphere Safety

Kemerovo State University

(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya street, 6,

e-mails: i.raskoshny@gmail.com, fominyh.anna1102@mail.ru, prosinmv@yandex.ru, natalya_turova@inbox.ru)

Abstract. This article provides a brief overview of changes in the legislation of the Russian Federation in the field of fire safety in 2021, reflects the attitude of representatives of supervisory authorities, non-profit organizations, and business towards them. Based on the opinions of experts, the degree and vector of the impact of these changes on market participants are characterized: the norm of the law is moving towards tightening the rules. As part of this tightening, it becomes more likely that there will be an increase in corrupt interaction between entrepreneurs and representatives of supervisory authorities. The problem of business corruption in the field of fire safety is particularly acute, since the safety of society directly depends on its solution. Understanding the mechanism by which an individual makes a decision to give/receive a bribe can help to get closer to solving this problem. To do this, based on the assumptions that behavioral economics operates, the principles of the operation of the decision-making mechanism by an entrepreneur and a fire inspector about giving / receiving a bribe were briefly explained. Based on the analysis of statistical data, a list of the most common violations of fire safety rules by business was compiled, and the specifics of the work of a fire inspector were described. In order to confirm the received theses on the principles of the decision-making mechanism, a sample

was formed of 10 real criminal cases initiated over the period from 2015 to 2020 under Art. 290 of the Criminal Code of the Russian Federation in relation to fire inspectors. An analysis of this sample made it possible to identify a number of general trends inherent in the consideration of such cases by the court. Based on the results of the study, based on the chosen theoretical approach and identified trends, recommendations are proposed to minimize the facts of corruption interaction among fire inspectors.

Keywords: legislation on fire safety, fire supervision, fire supervision inspector, businessman, fire safety, criminal action, receiving a bribe, behavioral economics, corrupt interaction, violation of fire safety regulations.

Введение. В настоящий момент вследствие пожаров в Российской Федерации погибает все большее количество людей [1-2]. В связи с этой проблемой государство активно усиливает контрольные мероприятия в области пожарной безопасности. Большая часть мер, направленных на ужесточение правил и требований, серьезно отражается на бизнес-среде.

Так, например, 17 февраля 2021 года Государственная дума в третьем окончательном чтении рассмотрела и приняла законопроект, который ужесточает ответственность за повторное нарушение требований пожарной безопасности на объектах трех высших категорий риска. По требованиям данного законопроекта повторные нарушения правил пожарной безопасности на объектах, относящихся к категориям чрезвычайно высокого, высокого и значительного риска будут наказываться новым размером штрафа:

- для граждан – от 3000 до 4000 рублей;
- для должностных лиц – от 15000 до 20000 рублей;
- для предпринимателей – до 400000 рублей и приостановление деятельности до 30-ти суток [3].

При этом, с 1 января 2021 года в России введен в действие новый порядок определения категорий риска для поднадзорных объектов: если раньше все школы, торговые центры, больницы, кинотеатры объединялись в одну группу риска независимо от своих особенностей, то теперь они будут приниматься во внимание [4]. Согласно новому порядку для определения категорий риска для поднадзорных объектов будут учитывать возможные негативные последствия пожара, противопожарное состояние и добросовестность собственника, это отмечал глава МЧС России Евгений Зиничев. При этом, в рамках проведения реформы, значительная часть поднадзорных объектов получила повышение категории риска. Например, торговые центры, ранее относившиеся к средней категории риска, были переведены в категорию значительного риска. Обратимся к оценке экспертов-представителей из разных сфер, на деятельность которых повлияли введенные изменения.

В целом, отношение экспертов к описываемым выше изменениям в законодательстве может быть выражено словами директора орловского филиала Фонда пожарной безопасности Натальи Бакаевой. В разговоре с корреспондентом одного из российских новостных изданий Н. Бакаева подчеркивает, что бизнес должен обеспечивать пожарную безопасность своих зданий, но не обеспечивает. С этой точки зрения новые правила пожарной безопасности она считает ужесточением. «Мы уже давно работаем с бизнесом в области пожарной безопасности, и я вижу, что бизнес

не хочет соблюдать правила – из соображений экономии», – отметила Н. Бакаева. С мнением об ужесточении согласны и эксперты в области пожарной безопасности. Они отмечают, что это общая тенденция нормотворчества у МЧС, призванная минимизировать ущерб от пожаров.

Отношение бизнес-среды к рассматриваемым изменениям в законодательстве может быть отражено мнением президента Российского совета торговых центров Дмитрия Москаленко. Д. Москаленко считает, что новые правила увеличат число проверок в торговых центрах, так как согласно новому порядку они будут отнесены к более высокой категории риска. Президент Российского совета торговых центров отмечает, что, с одной стороны, это поможет выявить недочеты в работе системы пожарной безопасности и своевременно их устранить, однако, с другой стороны, есть вероятность «злоупотребления полномочиями и частотой проверок пожарными инспекторами конкретных ТЦ в плане коррупционной составляющей».

Таким образом, общая тенденция по ужесточению законодательства в области требований к обеспечению пожарной безопасности может привести к дополнительным расходам для собственников бизнеса. В ряде случаев данные расходы могут оказаться крайне существенными ввиду значительного износа зданий, сооружений и состояния инженерных систем объектов, в которых осуществляется коммерческая деятельность [5]. В сложившейся ситуации предприниматель оказывается перед выбором: вложить средства компании в устранение имеющихся нарушений и следовать норме закона или же преступить его и попытаться дать взятку представителю надзорного органа. В случае, если предприниматель решает дать взятку, проверяющий также оказывается в ситуации выбора. От того, какой выбор будет осуществлен каждым из двух описываемых субъектов, напрямую зависит безопасность общества. Поэтому проблема деловой коррупции в сфере обеспечения пожарной безопасности является особенно острой. Чтобы приблизиться к решению данной проблемы, необходимо понять, какими предпосылками при принятии решений о даче/получении взятки руководствуются предприниматель и пожарный инспектор.

Целью настоящей работы являлось исследование механизма принятия решений предпринимателем и пожарным инспектором о даче/получении взятки, а также разработка практических рекомендаций по минимизации фактов коррупционного взаимодействия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Определение подхода к описанию механизма принятия решений в соответствии с темой исследования.

2. Описание механизма принятия решений предпринимателем и пожарным инспектором о даче/получении взятки с точки зрения выбранного подхода.

3. Рассмотрение специфики работы пожарного инспектора и выявление наиболее распространенных нарушений пожарной безопасности со стороны бизнеса.

4. Проведение анализа уголовных дел по ст. 290 УК РФ «Получение взятки», фигурантами которых стали пожарные инспекторы.

5. Выявление общих тенденции в судебной практике по схожим делам на основе проведенного анализа.

6. Разработка практических рекомендаций по минимизации фактов коррупционного взаимодействия среди пожарных инспекторов.

Материалы и результаты исследования. Механизм принятия решений человеком может быть описан с позиции различных научных подходов. Так, например, множество мотиваторов поведения индивида являются предметом исследования в психологии, а биология рассматривает поведение человека с точки зрения механизма обмена веществ в организме. Так как объектом исследования в настоящей работе выделяется механизм принятия решений человеком в рамках делового взаимодействия, то будет целесообразно рассматривать поведение человека с точки зрения экономической теории [6].

В современной экономической теории в качестве одного из разделов изучения выделяется раздел «поведенческая экономика» или «теория поведения экономических агентов». В теории поведения экономических агентов описывается механизм того, как субъекты экономики принимают свои решения. Основной предпосылкой к принятию человеком решений в поведенческой экономике принято считать следующее положение: в ходе сравнения последствий принятия какого-либо выбора, акторы, являясь полностью рациональными индивидами, склоняются к варианту с наиболее благоприятным соотношением возможных выгод и издержек [7-8]. Рассмотрим ранее описанную ситуацию принятия решений о даче/получении взятки, опираясь на данную предпосылку.

Механизм принятия решений представителями бизнеса, с точки зрения поведенческой экономики, объясняется достаточно просто: взятка будет предложена инспектору в том случае, если расходы на устранение нарушений будут значительно превышать размер взятки. Однако, несмотря на то, что поведение предпринимателей в подобной ситуации оказывается легко предсказуемо, у государства нет доступной экономической возможности влияния на совершение данного выбора. Административные меры принуждения демонстрируют также низкую эффективность [9-12]. Это связано со спецификой рассматриваемого преступления: вероятность вскрытия и доказательства в суде факта дачи взятки мала, поэтому предприниматели не считают риск получения наказания высоким,

а следовательно – не боятся его.

Вторая сторона, участвующая в описываемом процессе принятия решений, – пожарный инспектор. Мотивы действий и предпосылки, которыми руководствуется сотрудник надзорного органа в ситуации выбора, при более детальном рассмотрении, оказываются менее поверхностными и трудно предсказуемыми. Объясняется это тем, что между механизмами принятия решения сторонами о даче и получении взятки существует важное отличие. Заключается это отличие в разности сопоставляемых величин. Так, например, как уже было сказано ранее, предприниматель может пойти на дачу взятки только в том случае, если размер расходов на устранение нарушений будет превышать размер взятки. То есть, при принятии этого решения, предприниматель сопоставляет количественные величины, которые легко поддаются сравнению. Представитель другой стороны – пожарный инспектор, в свою очередь, сравнивает величину предлагаемой взятки и вероятность понесения наказания за совершение преступления. В количественном выражении эти величины не являются сравнимыми, однако их качественное сопоставление и служит конечным мотиватором к принятию решения.

Заклучим: с точки зрения экономической теории, тот факт, что преступления, связанные с получением взятки, продолжают происходить означает: выгоды совершения данного преступления «перевешивают» воз-можные издержки получения наказания.

Вероятно, в рамках выбранного подхода к рассмотрению поведения индивидов, основной причиной нарушения должностных обязанностей и получения взятки пожарным инспектором является благоприятное соотношение выгод и издержек данного выбора для сотрудника надзорного органа. Чтобы подтвердить этот тезис в контексте темы исследования, необходимо рассмотреть практику уголовных дел по ст. 290 УК РФ «Получение взятки» [13] в отношении пожарных инспекторов. Но для начала опишем специфику работы пожарного инспектора и обратимся к статистике наиболее распространенных нарушений правил пожарной безопасности со стороны предпринимателей.

Контроль за нарушениями правил пожарной безопасности возложен на структуры МЧС России и осуществляется в лице пожарного инспектора. Существует два вида контрольных мероприятий: плановые и внеплановые проверки. При осуществлении плановой проверки инспектор обязан провести полноценный осмотр объекта, проверить документы по пожарной безопасности, оценить состояние средств пожарной автоматики, пожаротушения, осмотреть эвакуационные пути и выходы, проверить состояние электросетей, а также оборудование мест для курения. В случае внепланового контрольного мероприятия инспектор имеет право требовать и собирать информацию только о предмете проверки [14]. Также нужно отметить, что все проверки должны проводиться с учетом требований Федерального закона № 294 «О защите прав

юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» [15].

В результате обработки статистических данных, содержащих информацию о нарушениях правил пожарной безопасности в РФ за 2020 год, были выявлены наиболее распространенные нарушения правил пожарной безопасности со стороны бизнеса. К таким нарушениям относятся загромождение путей эвакуации, нарушение закона о курении, эксплуатация неисправного электрооборудования, отсутствие или неисправность систем пожарной сигнализации и тушения пожара, использование легковоспламеняющихся материалов в качестве отделки путей эвакуации [16].

Анализируя полученный перечень наиболее распространенных нарушений правил пожарной безопасности со стороны бизнеса, можно сделать следующее умозаключение: большинство данных нарушений являются трудно скрываемыми, явными и возможность их необнаружения в ходе проверки инспектором является маловероятной. Исходя из этого, можно предположить, что большая часть объектов с нарушениями правил пожарной безопасности допускается пожарным инспектором к эксплуатации не по причине халатности, а в результате умышленного сокрытия нарушений требований пожарной безопасности за вознаграждение.

В ходе исследования нами были рассмотрены обстоятельства десяти уголовных дел, возбужденных за период с 2015 по 2020 год, фигурантами которых стали пожарные инспекторы. Информация о составе дел и приговорах суда была взята из открытых источников, в частности – из средств массовой информации.

Наиболее распространенная статья обвинения, по которой привлекаются лица, занимающие должность пожарного инспектора – статья 290 УК РФ «Получение взятки». Рассмотрение данной выборки позволило обнаружить особенности применения норм уголовного кодекса РФ при рассмотрении подобных дел. Подробно опишем два уголовных дела, которые, по мнению авторов статьи, являются наиболее показательными и характеризуют тенденции, общие для всей рассмотренной выборки.

В качестве первого примера можно привести дело в отношении инспектора отделения надзорной деятельности ГУ МЧС по Санкт-Петербургу, который был признан виновным в получении взятки в крупном размере (ч. 5 ст. 290 УК РФ). По версии следствия, Валерий Иванов за денежное вознаграждение проигнорировал явные нарушения правил пожарной безопасности у ряда юридических лиц и предпринимателей. В ходе расследования стало известно о получении пожарным инспектором взятки в размере 329 тысяч рублей от главы ООО «БалтМонолитСтрой» взамен сокрытия фактов некачественно проведенного монтажа зданий. Суд приговорил Иванова В. к 7 годам лишения свободы условно, а также назначил штраф в размере 100 тысяч рублей.

Другим характерным примером привлечения к от-

ветственности сотрудника пожарного надзора МЧС России является дело в отношении Дмитрия Червякова. В ходе следствия было установлено, что сотрудник управления надзорной деятельности Ленинградской области получил в качестве взятки 544 тысячи рублей от учредителя коммерческой организации Андрея Колесниченко. Взятка была получена взамен избежания ответственности и принятия каких-либо мер в случае выявления нарушений пожарной безопасности. При этом, отмечается, что основной специализацией компании-взяткодателя является установка, техобслуживание и ремонт средств пожарной безопасности. На суде Червяков Д. признал свою вину в совершенном преступлении. Суд приговорил бывшего инспектора к 4 годам лишения свободы с отбыванием срока условно, а также постановил выплатить штраф в размере 300 тысяч рублей.

Изучение выборки из десяти недавних уголовных дел, возбужденных по ст. 290 УК РФ, в отношении пожарных инспекторов, позволяет выделить следующие общие тенденции:

1. Сопоставление предусмотренных законом возможных наказаний за преступления, совершенные по ст. 290 УК РФ, с реальными приговорами показывает: выносимые судом приговоры по данным делам являются наиболее мягкими из возможных. К примеру, данная статья по ч. 5 (получение взятки в крупном размере) предусматривает меры пресечения в виде штрафа в размере от семидесятикратной до девяностократной суммы взятки или лишения свободы на срок от семи до двенадцати лет [17-18]. Лишь в 1 из 10 рассмотренных дел размер штрафа превышал размер полученной взятки.

2. Наказание в виде лишения свободы в 8 из 10 рассмотренных дел применяется с оговоркой «условно».

3. Каждое из рассмотренных дел было возбуждено по единственному эпизоду получения взятки. Какое количество денежных средств мог получить в качестве взятки каждый из привлеченных сотрудников за все время службы в надзорных органах остается неизвестным.

Рассмотрение выделенных выше тенденций судопроизводства по подобным делам показывает: несмотря на то, что экономические преступления, связанные с умышленным сокрытием инспектором фактов нарушений требований пожарной безопасности на поднадзорном объекте могут причинить значительный вред обществу, реальные наказания по ним несущественны [19]. Данное умозаключение подтверждает обозначенный при обращении к экономической теории тезис: «перевешивают» возможные издержки получения наказания.

Заключение. Таким образом, в ходе исследования были освещены современные тенденции законодательства РФ в области требований к правилам пожарной безопасности и отношение к данным тенденциям со стороны власти, бизнеса и экспертов. Агрегированно мнение всех сторон можно представить в виде тезиса о том, что новые законодательные инициативы дви-

жуются в сторону ужесточения правил. Данный факт приводит к возникновению дополнительных расходов у предпринимателей, что повышает риск усиления коррупционной составляющей в среде деловых отношений власти и бизнеса. Помочь снизить этот риск может ряд мер, основанных на понимании механизма принятия решений о даче/получении взятки участниками данных отношений. Для выработки практических рекомендаций по минимизации коррупционного взаимодействия, мы обратились к практике рассмотрения реальных уголовных дел.

По результатам изучения выборки из десяти уголовных дел, возбужденных по ст. 290 УК РФ в отношении пожарных инспекторов, был выделен ряд общих тенденций, свойственных рассмотрению подобных дел судом. Анализ данных положений позволяет сделать вывод о том, что в значительной степени именно потенциально благоприятное соотношение выгод и издержек получения взятки является причиной делинквентного поведения части сотрудников надзорных органов: размер штрафа в 9 из 10 рассмотренных дел не превышал размер взятки, по всем делам наказание в виде лишения свободы было применено условно. Так же следствию, как правило, остается неизвестен характер коррупционных отношений – частота и длительность таких взаимодействий [20].

Исходя из всего вышесказанного, для сокращения количества фактов коррупционных взаимодействий в рамках тенденции к ужесточению законодательства РФ в области требований пожарной безопасности, видится необходимым внедрение в судебную практику прецедентов назначения более строгих наказаний по подобным делам. С точки зрения поведенческой экономики это может позволить достичь такого соотношения между выгодами и издержками решения о получении взятки, что таковое будет расцениваться индивидом как неблагоприятное. Действующий закон предусматривает возможность вынесения более строгих решений, однако для того, чтобы получение взятки стало полностью невыгодным, одной возможности получения сурового наказания недостаточно. Не менее важно понимание индивидом его неотвратимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Несина, А.С. Сравнительный анализ пожаров в России и в развитых индустриальных странах / А.С. Несина, М.В. Просин, Н.Н. Турова, Е.И. Стабровская, А.А. Моисеев // Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». Том 2, 2021. – С. 218-220.
2. Российская газета / учредитель Правительство Российской Федерации. – М., 1990. – 16 полос. – Федеральный выпуск – 2021, N. 8357.
3. О внесении изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях [Текст]: федеральный закон от 09.03.2021 г. №36-ФЗ; последняя редакция // Собрание законодательства РФ. – 2021. – № 11.
4. О внесении изменений в Положение о федеральном государственном пожарном надзоре [Текст]: постановление правительства РФ от 12.10.2020 г. №1662 // Собрание законодательства РФ. – 2020. – № 42.
5. Шестакова, Е.И., Мурзагалина Г.М. Проблемы изношенности основных фондов // Символ науки. 2017. №3.
6. Автономов, В.С. Модель человека в экономической те-

ории и других социальных науках // Истоки. 2-е изд. М.: ГУ ВШЭ, 2001. Вып. 3. С. 24-71.

7. Поведенческая экономика: современная парадигма экономического развития: моногр. / под ред. Г.П. Журавлевой, Н.В. Манохиной, В.В. Смагиной. М.; Тамбов: Изд. дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2016. 340 с.

8. Хейне, П. Экономический образ мышления. М.: Дело, 1993. 702 с.

9. Газиева, А.З. Актуальные проблемы государственного управления. Проблемы коррупции / Газиева А.З. // Современные научные исследования и инновации, 2018. – № 4 (84). – С. 28.

10. Моловцова, Л.И. О проблеме коррупции в России / Моловцова Л.И. // Современные кадровые технологии в управлении предприятиями и территориями. Материалы III всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2018. – С. 134-138.

11. Долинко, В.И. Проблемы коррупции в России и за рубежом / Долинко В.И. // Российский следователь, 2012. – №1. – С. 37-39.

12. Грищенко, А.А. Основы государственной антикоррупционной политики Российской Федерации на современном этапе / Грищенко А.А., Пашина Н.Н. // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, 2014. – Т. 4. – № 2 (7). – С. 405-411.

13. Уголовный кодекс РФ от 13.06.1996 г. №63-ФЗ (ред. от 25.02.2022) // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 25. – С. 2954.

14. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» [Текст]: федеральный закон от 18.11.1994 г. № 248-ФЗ; в ред. от 11.06.2021 // Собрание законодательства РФ. – 2021. – № 24.

15. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля [Текст]: федеральный закон от 26.12.2008 N 294-ФЗ; последняя редакция // Собрание законодательства РФ. – 2008. – № 52.

16. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году» / - М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021, 264 с.

17. Доан, С.Х. Уголовно-правовая ответственность должностного лица за получение взятки по УК РФ / Доан С.Х. // Colloquium-Journal, 2019. – № 18-7 (42). – С. 20-21.

18. Гармышев, Я. В. Проблемы назначения наказания за нарушение правил пожарной безопасности // Вестник ИРГ-ТУ. 2007. №1.

19. Борзов, Е.А. Противодействие коррупции в системе МЧС России / Борзов Е.А. // Лучшая научная статья 2021. Сборник статей XL Международного научно-исследовательского конкурса. – Пенза, 2021. – С. 60-62.

20. Кириллов, Г. Соблюдение законности превыше всего. Ещё не изжиты нарушения в сфере госнадзора / Кириллов Г. // Гражданская защита, 2007. – №1. – С. 39-40.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК: 614.8

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0033

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ
В ЗДАНИЯХ И ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

©2022

Несина Анастасия Сергеевна, студент специальности «Пожарная безопасность»**Якушева Алёна Андреевна**, студент специальности «Пожарная безопасность»**Стабровская Елена Игоревна**, кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферной безопасности**Васильченко Наталья Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры Техносферной безопасности*Кемеровский государственный университет**(650000, Россия, Кемерово, улица Красная, дом 6,**e-mails: morgy-tyan@mail.ru, alonavekysheva@mail.ru, helist@inbox.ru, natalivasi@yandex.ru)*

Аннотация. В данной работе рассматривается проблематика обеспечения правил пожарной безопасности в зданиях и сооружениях, где могут присутствовать люди с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Каждый двенадцатый житель России – это взрослый или ребенок с ОВЗ. Однако тема доступной инфраструктуры для маломобильных людей является недостаточно изученной. Всё это делает инвалидность малозаметной – никто не замечает проблемы таких людей. Это в свою очередь способствует еще большему исключению данной группы из общественной жизни. Целью исследования является привлечение внимания к проблеме пожарной безопасности для людей с ОВЗ и поиск решений для улучшения их в повседневной жизни, а также для создания равных условий. Для исследования вышеуказанной темы используется следующий метод: анализ уже имеющихся решений у наиболее развитых стран, опыт которых необходимо учитывать в современных условиях. Объектом данной работы является пожарная безопасность. В качестве субъектов выбраны граждане с ОВЗ. На основе анализа имеющихся документов возникли новые предложения по упрощению эвакуации маломобильных людей, а также по совершенствованию пожарной безопасности для них. Особое внимание необходимо уделить повышению противопожарной грамотности среди населения, в особенности среди работников социальной защиты и сопровождаемых – людей, которые следят и помогают людям с ОВЗ в процессе их повседневной деятельности. Стоит уделить внимание моменту получения информации гражданами с ОВЗ при изучении стандартных планов эвакуации и непосредственно самой эвакуации. При решении вышеизложенных возможно создание равных условий для спасения жизней всех граждан Российской Федерации. Подводя итог, стоит отметить основную мысль данной работы - необходимо создавать равные условия для спасения жизней людей. Всё это вызывает потребность сделать так, чтобы люди с ОВЗ испытывали чувство принадлежности и понимали, что они важны для государства и других граждан, и что их слышат. За счет вышеизложенного появится возможность создания дополнительных рабочих мест в большинстве зданий, сооружениях и объектах производственного назначения. Предложенные в работе варианты изменения существующей ситуации позволят сократить отставание России от других мировых держав в области обеспечения пожарной безопасности, а также повысит уровень жизни населения.

Ключевые слова: пожарная безопасность, ограниченные возможности здоровья, эвакуация, маломобильные группы населения, пострадавшие.

FIRE SAFETY OF PEOPLE WITH DISABILITIES IN THE BUILDINGS AND INDUSTRIAL OBJECTS

©2022

Nesina Anastasia Sergeevna, student**Yakusheva Alena Andreevna**, student**Stabrovskaya Elena Igorevna**, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Technosphere Safety

Vasilchenko Natalya Viktorovna, candidate of technical sciences,

associate professor of the department of Technosphere Safety

*Kemerovo State University**(650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya street, 6,**e-mails: morgy-tyan@mail.ru, alonavekysheva@mail.ru, helist@inbox.ru, natalivasi@yandex.ru)*

Abstract. The aim of the article is researching of ensuring fire safety rules in buildings and structures where people with disabilities could be. Every twelfth inhabitant of Russia is an adult or a child with disabilities. However, the topic of accessible infrastructure for people with limited mobility is not well understood. Due to it, disability is hardly noticeable - no one accents the problems of such people. Furthermore it forecloses this group from public life. The aim of the article is paying attention to the problem of fire safety for people with disabilities and to find solutions to improve them in everyday life, as well as to create equal conditions. The following method is used to research the above topic: analysis of existing solutions in the most developed countries, whose experience must be taken into account in modern conditions. The object of the work is fire safety. Citizens with disabilities were selected as subjects. The analysis is being made of the solutions already available in the most developed countries, the experience of which must be taken into account in

modern conditions. Using the analysis is being made of the solutions already available in the most developed countries, the experience was found which must be taken into account in modern conditions. Based on the analysis of available documents, new proposals have arisen to simplify the evacuation of people with limited mobility, as well as to improve fire safety for them. Particular attention should be paid to improving fire awareness among the population, in particular among M people with disabilities, social protection workers and escorts - people who help people with disabilities in their daily activities. Moreover it should be paying attention to the moment when citizens with disabilities receive information when studying standard evacuation plans and the evacuation itself. It is possible to create equal conditions for saving the lives of all citizens of the Russian Federation.

Keywords: Fire safety, disabilities, evacuation, people with limited mobility, passenger transportation.

Введение. В современном мире проблема пожаров и их последствий остаётся актуальной – только в России по причине опасных факторов пожара ежегодно гибнет 9,5 тыс. человек. Ввиду этого пожарная безопасность и противопожарная пропаганда являются одними из приоритетных направлений в области защиты населения от чрезвычайных происшествий [1-3].

Если в доме случится возгорание, шансы на выживание будут зависеть от того, насколько быстро и безопасно человек сможет выбраться из него. Стандартные противопожарные меры в доме предусматриваются для обычных людей, а скорость безопасной эвакуации оценивают по скорости передвижения

среднестатистического здорового взрослого человека.

Однако стоит учитывать существующую проблему эвакуации и противопожарных мер для людей с ограниченными возможностями здоровья (далее – ОВЗ). Каждый двенадцатый житель России – это взрослый или ребенок с ОВЗ. Инвалидность в большинстве случаев влечет за собой физические и социальные ограничения для человека: трудности с обучением, трудоустройством, перемещением по городу. Всё это делает инвалидность малозаметной – никто не замечает проблемы таких людей. Это в свою очередь способствует еще большему исключению данной группы из общественной жизни [4, 5].

Статистика Росстата по количеству пострадавших и погибших людей за 2018-2021 гг.

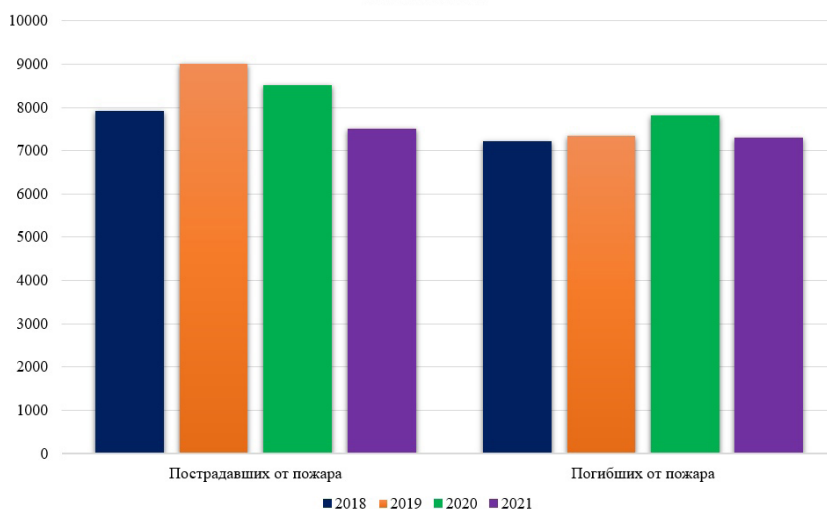


Рисунок 1 – Статистика Росстата по количеству пострадавших и погибших людей за 2017-2020 гг

Целью исследования является привлечение внимания к проблеме пожарной безопасности для людей с ОВЗ и поиск решений для улучшения их в повседневной жизни, а также для создания равных условий.

Проблема создания достойной инфраструктуры для людей с ограниченными возможностями здоровья актуальна для каждой страной нашего мира. Тем не менее вопрос обеспечения пожарной безопасности для развитых стран стоит менее остро по причине более глубокой проработки данного вопроса.

Материалы и результаты исследования. В отличие от России в более развитых странах уже существуют некоторые предпосылки к решению данной проблемы. К примеру, на улицах Японии можно увидеть достаточное количество маломобильных людей.

Дело в том, что людям с ОВЗ комфортно передвигаться по улицам города, в том числе и по дворовой территории, так как в Японии бордюры запрещены для облегчения ведения деятельности людям с ОВЗ, а также преклонного возраста. Жилые дома оборудованы лифтами для инвалидов, что позволяет беспрепятственно перемещаться людям с инвалидностью. Также во всех помещениях используют широкие двери, чтобы могло проехать любое оборудование, поддерживающее жизнедеятельность человека.

Во Франции закон обязывает возводить все здания и сооружения таким образом, чтобы люди с ограниченными возможностями здоровья имели к ним доступ.

В Соединенных Штатах Америки законы предпи-

сывают арендаторам делать исключения для слепых жильцов и разрешать им проживание с собаками-поводырями, даже если правила жилого комплекса запрещают домашних животных. Обязанностью государства является обеспечение людей с ОВЗ всеми необходимыми услугами (медицина, образование, культурное просвещение и т.д.), поэтому в зданиях, где оказываются эти услуги, предусмотрены пандусы, лифты для колясочников со специальными рельефными кнопками.

В Италии на людей с ОВЗ надевают специальные браслеты, которые могут отслеживать местоположение объекта. Это помогает в экстренной ситуации спасти жизнь.

В Евросоюзе существует такое приложение, которое позволяет людям с ОВЗ быстро ориентироваться в городе или сельской местности. Программа предоставляет информацию о местоположении зарезервированных парковочных мест, туалетов, оборудованных для гостей на инвалидных креслах, а также об эвакуационных выходах. Специальная карта объектов, доступных для инвалидов колясок, доступна в формате pdf и на стойке регистрации.

В ходе работы была проанализирована нормативно-правовая база в области пожарной безопасности для маломобильных групп населения М2, М3 и М4. На основе анализа имеющихся документов возникли новые предложения по упрощению эвакуации маломобильных людей, а также по совершенствованию пожарной безопасности для них.

Первый пункт – повышение противопожарной грамотности среди населения, в особенности среди МГН, работников социальной защиты и сопровождаемых – людей, которые следят и помогают людям с ОВЗ в процессе их повседневной деятельности.

Также стоит уделить особое внимание гражданам с ОВЗ при проведении специальных учений в плане эвакуации людей из зданий [6-8]. Обычно их наличие во время отработки навыков спасения не учитывается, а значит прибывшие на учения пожарные не могут отработать приёмы спасения маломобильных людей. Это, в свою очередь, в дальнейшем может повлиять на время спасения людей при реальной угрозе – увеличивается время спасения за счет неправильной транспортировки пострадавших, увеличивается вероятность гибели самого пожарного звена [9-11].

Помимо этого, в рамках противопожарной пропаганды, граждане с ОВЗ, как и все остальные, всегда должны иметь доступ к средствам спасения жизни в случае пожара. Также необходимо проводить информирование людей с ограниченными возможностями здоровья о доступных специальных устройствах, таких как дымовые извещатели с вибрирующей подушкой или мигающим светом для людей с нарушением слуха, дымовые извещатели со стробоскопической лампой за пределами дома, чтобы привлечь внимание соседей или прохожих, а также системы экстренного вызова или сигнализации для вызова помощи [12, 13].

Стоит отметить проблему получения информации

гражданами с ОВЗ при изучении стандартных планов эвакуации. Обычные пользователи здания с ограниченными возможностями здоровья должны получить копию личного плана здания при пожаре. Однако большинство дубликатов, используемых в зданиях, сооружениях и промышленных объектах создаются для среднестатистического человека – в копиях планов не предусмотрен шрифт Брайля. В проектной документации должны быть предусмотрены условия беспрепятственного, безопасного и удобного передвижения маломобильного гражданина по участку к доступному выходу из здания. План эвакуации должен быть доступным к быстрому изучению и запоминанию.

Эвакуация – один из важнейших моментов спасения человека от воздействия опасных факторов пожара, следовательно, её усовершенствованию стоит уделить особое внимание [14, 15].

Предлагаемое решение для безопасной эвакуации граждан с ОВЗ – создание групп экстренной помощи среди управления дома, соседей и добровольной пожарной охраны. При необходимости должны быть приняты меры, чтобы присутствие человека с ОВЗ было известно тем, кто будет оказывать помощь. Это можно сделать с помощью счетчика входов и выходов на входе или путем информирования кого-либо, при условии, что рабочий стол или офис постоянно укомплектован в течение дня [16-18].

Помимо вышеперечисленного стоит отметить, что люди с ограниченными физическими возможностями не должны использовать какие-либо части здания, из которых им было бы трудно, даже с помощью, спастись в случае пожара [19]. Примером этого, вероятно, может быть использование подвалов инвалидами-колясочниками там, где нет выхода на цокольный этаж. Действия, которые могут происходить в таких областях, должны быть перемещены в другие области, насколько это практически возможно, во избежание исключения людей с ограниченными возможностями.

Также необходимо рассмотреть вопрос заселения маломобильных граждан в многоквартирные дома. При поиске квартир на предусмотренных для этого платформах не указывается наличие условий для безопасного и доступного проживания людей с ОВЗ. Стоит рассмотреть создание рекомендаций для маломобильных групп по выбору жилья [20].

Большинство строений, например, здания 70-80 гг. XX века, не предусматривают безопасной эвакуации граждан, имеющих проблемы с опорно-двигательным аппаратом – лифты и лестничные клетки фактически не вмещают человека, использующего коляску, и его сопровождаителя. Этот факт необходимо учитывать при заселении МГН. Данная проблема решается в зданиях нового типа. Для построек на основе прежней документации требуется модернизация [21].

Заключение. Подводя итог, стоит отметить основную мысль данной работы – необходимо создавать равные условия для спасения жизней людей. Всё это вызывает потребность сделать так, чтобы люди с ОВЗ

испытывали чувство принадлежности и понимали, что они важны для государства и других граждан, и что их слышат. За счет вышеизложенного появится возможность создания дополнительных рабочих мест в большинстве зданий, сооружениях и объектах производственного назначения. Предложенные в работе варианты изменения существующей ситуации позволят сократить отставание России от других мировых держав в области обеспечения пожарной безопасности, а также повысит уровень жизни населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Моисеев, А.А. Состояние уровня охраны труда на современных производственных предприятиях Российской Федерации / Моисеев А.А., Бесперстов Д.А., Просин М.В. // Сборник III национальной конференции «Современные тенденции развития науки», 2020. - Кемерово. - С. 53 – 55

2. Метелева, Е.В. Цифровая трансформация в области промышленной безопасности и охраны труда / Е.В. Метелева, М.В. Просин, И.Ю. Резниченко // Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». Том 2, 2021. – С. 216-217

3. Фоминых, А.О. Исследование влияния учебных тренировок по эвакуации учащихся средних классов школ в условиях, приближенных к условиям ЧС / Фоминых А.О., Просин М.В., Раскошный И.А. // Холодильная техника и биотехнологии, 2020. – С. 148-149

4. Ротарь, Т. Г. Актуальные проблемы совершенствования системы обеспечения пожарной безопасности международного аэропорта Кишинев, 2019. – 15 с.

5. Turova, N. The use of functional food products for the prevention of vitamin deficiency in people with increased physical and neuropsychic stress on the example of firefighters-rescuers / N. Turova, E. Stabrovskaya, N. Vasilchenko, M. Prosin and A. Moiseev // E3S Web of Conferences, Vol. 273, 13008 (2021)

6. Метелева, Е.В. Использование методов управления качеством для оценки необходимости внедрения цифровой трансформации в области промышленной безопасности и охраны труда / Метелева Е.В., Просин М.В., Резниченко И.Ю. // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021). Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. Москва, 2021. – С. 213-215

7. Стабровская, Е.И. Применяемые виды подготовки личного состава газодымозащитной службы в непригодной для дыхания среде / Стабровская Е.И., Турова Н.Н., Васильченко Н.В., Просин М.В., Чалаташвили М.Н. // Электронный научный журнал нефтегазовое дело, 2021. - № 3. - С. 63-77

8. Любимов, И.А. Анализ подручных средств тушения пожаров на автотранспорте / И.А. Любимов, М.В. Просин, И.А. Бакин, А.С. Мустафина // Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». Том 2, 2021. – С. 210-212

9. Фомин, А.И. Профилактика нарушений обязательных требований в области пожарной безопасности на предприятиях угольной промышленности при возникновении чрезвычайной ситуации в мирное и военное время / Фомин А.И., Бесперстов Д.А., Моисеев А.А., Просин М.В./Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2021. – №2. – С. 41-46

10. Несина, А.С. Сравнительный анализ пожаров в России и в развитых индустриальных странах / А.С. Несина, М.В. Просин, Н.Н. Турова, Е.И. Стабровская, А.А. Моисеев // Сборник тезисов IX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии». Том 2, 2021. – С. 218-220

11. Киздермишова, С.Х. О роли адаптированного дидактического материала в обучении детей с ОВЗ мерам пожарной безопасности / Киздермишова С.Х., Кучинская Е.А., Кулакова В.О., Ботвинский М.С. // Пожарная и техноферная безопасность: проблемы и пути совершенствования, 2021. – № 1 (8). – С. 171-174

12. Мельник, О.Е. Особенности и направления совершенствования противопожарной работы с маломобильными группами населения / Мельник О.Е., Сидоркин В.А., Чистяков А.А. // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России, 2020. – № 3. – С. 23-29

13. Синицын, В.В. Пожарная безопасность инвалидов по слуху в условиях инклюзивного образования / Синицын В.В., Карношкин А.И., Хаустов В.В., Сулименко В.А., Харитоненко В.К. // Известия Юго-западного государственного университета, 2014. – № 3 (54). – С. 62-68

14. Костерин, И.В. Повышение уровня культуры пожарной безопасности граждан пожилого возраста и людей с ограниченными возможностями здоровья / Костерин И.В., Новичкова Н.Ю., Присадков В.И. // Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XII международной научно-практической конференции, посвященной году гражданской обороны, 2017. – С. 638-640

15. Акодзян, С.И. Особенности формирования навыков безопасности жизнедеятельности у детей с ОВЗ / Акодзян С.И., Васильева Р.Г., Солдатенкова Е.В., Коток Т.И., Попова Л.А. // Инновации в экономике, науке и образовании. Материалы международной научно-практической конференции, 2019. – С. 59-70

16. Козин, А.Ю. Формирование безопасного поведения у обучающихся в инклюзивном образовании / Козин А.Ю., Гафнер В.В. // Грани педагогики безопасности. Сборник материалов Всероссийской студенческой конференции, 2017. – С. 100-103

17. Смирнова, Т.Н. Противопожарная пропаганда и обучение мерам пожарной безопасности граждан пожилого возраста и инвалидов / Смирнова Т.Н., Матюшин А.В. // Пожарная безопасность, 2013. – № 4. – С. 114-120

18. Киздермишова, С.Х. Из опыта профилактической работы в области пожарной безопасности / Киздермишова С.Х., Кучинская Е.А., Кулакова В.О., Ботвинский М.С. // Пожарная и техноферная безопасность: проблемы и пути совершенствования, 2021. – № 3 (10). – С. 178-185

19. Выговтов, А.В. Способ снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска / Выговтов А.В., Королев Д.С., Калач А.В. // Научно-аналитический журнал вестник Санкт-петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России, 2021. – № 4. – С. 1-8

20. Собрень, С.В. Планирование мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и организации действий при пожаре (на примере стандарта 3-01 Канады) / Собрень С.В., Собрень О.С. // пожарная безопасность, 2006. – № 6. – С. 115-119

21. СП 59.13330.2020 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. – Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 904, приведен в действие с 1 июля 2021 г.

Статья поступила в редакцию 11.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022

УДК 001.891.57

DOI: 10.46548/21vek-2022-1157-0034

**РОЛЬ НАНОМОДИФИКАТОРОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ПОСТРОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

© 2022

Панфилова Марина Ивановна, доцент кафедры «Общая и прикладная физика»**Леонова Данута Амброзьевна**, старший преподаватель кафедры «Общая и прикладная физика»,
Московский государственный строительный университет
(129337, Россия, Москва, Ярославское ш., 26, e-mails: 043210@mail.ru, Danuta1960@yandex.ru)**Горячева Анна Александровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»**Полянскова Екатерина Александровна**, кандидат биологических наук,
доцент кафедры «Биотехнологии и техносферная безопасность»
Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mails: ecolog81@rambler.ru)

Аннотация. При строительстве в сложных природных и геологических условиях одной из важных проблем являются водоносные трещины, рыхлые отложения в верхней трещиноватой части коренных пород. Гидроизоляция туннелей, шахтных стволов, заполнение пространства между креплением выработки и породой обеспечит безопасность, высокую степень надежности, безопасную эксплуатацию и долговечность построенных объектов. Серьезный интерес представляют тампонажные композиции с улучшенными технологическими свойствами. В работе рассмотрена возможность вовлечения углеродных нанотрубок в комозитный раствор. Исследовано структурообразование композитных растворов с различным содержанием углеродных нанотрубок. Определена оптимальная концентрация углеродных нанотрубок, при которой скорость структурообразования достигает максимального значения. Установлено, что наибольший эффект по набору прочности достигается при добавке углеродных нанотрубок 0,012% к массе цемента. По отношению к образцу без добавок (контрольному) наблюдается возрастание скорости формирования структуры почти в 1,5 раза. Определено, что оптимальная добавка увеличивает прочность композитного раствора более чем на 50% по сравнению с контрольным образцом.

Ключевые слова: Тампонажные композиции, композитные растворы, безопасность, углеродные нанотрубки, структурообразование, оптимальная концентрация.

THE ROLE OF NANOMODIFIERS IN ENSURING THE SAFETY OF CONSTRUCTED OBJECTS

© 2022

Panfilova Marina Ivanovna, associate professor of the Department of General and Applied Physics,**Leonova Danuta Ambrozhevna**, senior lecturer of the Department of General and Applied Physics,
Moscow State University of Civil Engineering

(129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe Shosse, 26, e-mail: 043210@mail.ru, Danuta1960@yandex.ru)

Goryacheva Anna Alexandrovna, candidate of agricultural sciences, associate professor,
associate professor of the Department of Biotechnology and Technosphere Safety**Polyanskova Ekaterina Alexandrovna**, candidate of biological sciences,
associate professor of the Department of Biotechnology and Technosphere Safety
Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, BaydukovProyezd / Gagarin Street, 1a/11, e-mails: ecolog81@rambler.ru)

Abstract. During construction in difficult natural and geological conditions, one of the important problems are water-bearing cracks, loose deposits in the upper fractured part of the bedrock. Waterproofing of tunnels, mine shafts, filling the space between the workings and the rock will ensure safety, a high degree of reliability, safe operation and durability of the constructed facilities. Padding compositions with improved technological properties are of serious interest. The paper considers the possibility of involving carbon nanotubes in a comosite solution. The structure formation of composite solutions with different content of carbon nanotubes has been studied. The optimal concentration of carbon nanotubes has been determined, at which the rate of structure formation reaches its maximum value. It was found that the greatest effect on strength gain is achieved by adding 0.012% carbon nanotubes to the cement weight. In relation to the sample without additives (control), there is an increase in the rate of formation of the structure by almost 1.5 times. It was determined that the optimal additive increases the strength of the composite solution by more than 50% compared to the control sample.

Keywords: Grouting compositions, composite solutions, safety, carbon nanotubes, structure formation, optimal concentration.

Введение. При строительстве в сложных природных и геологических условиях одной из важных проблем являются водоносные трещины, рыхлые отложения в верхней трещиноватой части коренных пород.

Гидроизоляция туннелей, шахтных стволов, заполнение пространства между креплением выработки и породой обеспечит безопасность, высокую степень надежности, безопасную эксплуатацию и долговечность построенных объектов. Для этих целей применяют тампонажные растворы [1-4].

Серьезный интерес представляют разработки высокоэффективных строительных материалов с применением нанотехнологического подхода. Наиболее перспективным является модифицирование цементных композиций с включением различных наномодификаторов при небольших дозировках добавок, введение которых существенно повышает эксплуатационные характеристики, а также помогает направленно руководить процессом структурообразования материала [5-8]. Для улучшения эксплуатационных свойств полимерных композиций в качестве модификаторов используют углеродные нанотрубки [9-13]. При введении малых (в процентном отношении) количеств углеродных нанотрубок (до 1 мас. %) очевиден эффект улучшения различных свойств: механических, электрических (увеличивается электропроводность), меняется теплопроводность, термостабильность и другие характеристики материалов.

Такой эффект определяется характеристиками, которыми обладают углеродные нанотрубки (УНТ), среди них: геометрические параметры, наличие на поверхности УНТ функциональных групп и т.д. [14-20]. Исследования, проводимые в данном направлении, нацелены на установление связи между составом нанодобавки и свойствами получаемого материала. В работе [9] представлен прогноз изменения свойств композитов после введения УНТ: при введении 0,05 мас. % возрастает модуль упругости эпоксидного композита на 17%, а прочности при изгибе – на 10% [19-24].

Применение УНТ – это фактически фибровое армирование, но происходит оно на микроуровне. Из литературы данных известно, что прочность цементного камня и модуль упругости увеличивается в разы даже при добавлении небольшого количества (0,001-2%) [11].

Целью данного исследования является изучение структурообразования композитных растворов (КР) в течение времени набора прочности для выявления оптимальной концентрации.

Материалы и результаты исследования. Для изучения влияния добавок на структурообразование цементного камня готовили композитные растворы. Состав композитного раствора на основе бентонита марки П1Т1 с добавками представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав композитного раствора на основе бентонита

№	Состав
1	Нанотрубки УМНТ
2	Бентонитовый порошок, марка П1Т1
3	Портландцемент М500
4	Натриевое жидкое стекло (ГОСТ13078-81), универсал, марка ТЕКС
5	Дистиллированная вода

Для получения КР в бентонит марки П1Т1 добавляли многослойные углеродные нанотрубки (УМНТ), встряхивали сухую смесь, добавляли воду, (водоцементное соотношение 2:1), перемешивали. Через 15 минут вводили цемент, перемешивали, а затем добавляли 5% жидкого стекла к весу смеси. Скорость перемешивания раствора, на протяжении всего периода приготовления составила 650 об/мин. Содержание в исследуемых КР варьировали от 0,000% (нулевой образец) до 0,036% к массе цемента.

В работе использовали бентонит марки П1Т1А Зырянского месторождения, полученные рентгенограммы которого приведены на рисунках 1, 2 (рентгеноструктурный анализ проводили с использованием автоматизированного рентгеновского дифрактометра ДРОН-3).

Выявлено, состав бентонита состоит из девяносто процентов бентонита, от трех до четырех процентов кварца, кальцита от двух до трех процентов, плагиоклаз – от двух до трех процентов, гематит – от одного до двух процентов, остальное – монтмориллонит. Монтмориллонит частично аморфизованный, или высокодисперсный, а также имеется на ориентированном препарате от одного до двух процентов кристаллита (опал). Установлено, что по степени насыщения содержание монтмориллонита составляет 90% в бентоните. Гранулометрический состав бентонита представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав бентонита

Образец	Максимальный размер частиц d_{95} , мкм	Средний размер частиц d_{50} , мкм	Частиц меньше 2 мкм, % по массе
Бентонит П1Т1А	38,361	5,669	18,36

На рисунке 3 приведено интегральное и дифференциальное распределение частиц по размерам в образце бентонит П1Т1А.

Согласно полученным результатам, бентонит П1Т1А имеет удельную поверхность 290 см²/г. Основной размер частиц находится в пределах 0,5-70 мкм. При этом 82% частиц порошка имеют размер менее 38 мкм, а 18% более мелких частиц, имеющих размер менее 2 мкм (в девятнадцать раз меньше).

В качестве модификатора использовали многослойные углеродные нанотрубки – представляют собой наномодификатор "Таунит", созданный сотрудниками Тамбовского государственного технического университета, полученный каталитическим пиролизом углеводородов, с образованием фуллереноподобных тубулированных связей и пучков углеродного наноструктурированного материала [17-19]. Основные его свойства представлены на рисунке 4.

Нанотрубки выполняют функцию армирующего материала, превращая цементный камень в прочную композитную систему [10].

Для определения прочности отвержденных образцов использовали гидравлический пресс Controls 50 - C0050/CAL50, и прибор Ребиндера-Гораздовского с

конусом. Прочность определяли через 1, 3, 5, 7, 17 и 28 суток.

Меняя процентное содержание УМНТ определяли прочность во всех образцах композитных растворов через 7, 14 и 28 суток. По результатам исследования прочности композитного раствора были построены графики зависимости прочности композитного раствора от кон-

центрации УМНТ к массе цемента (рис. 5), прочности композитных растворов от продолжительности хранения при оптимальном значении концентрации УМНТ к массе цемента (рис. 6).

Графически установлен максимум скорости процесса структурообразования при достижении концентрации УМНТ 0,012% к массе цемента.

Интенсивность, имп/с

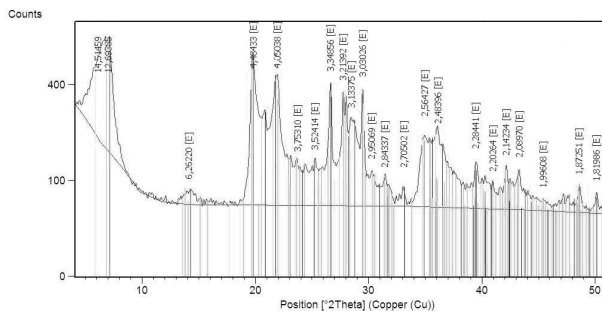


Рисунок 1 – Рентгенограмма порошка бентонитовой глины марки ПП1А

Интенсивность, имп/с, длина волны A⁰

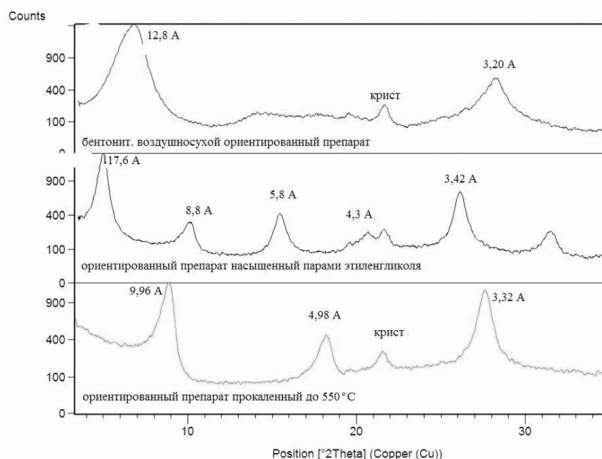


Рисунок 2 – Рентгенограмма отмученного бентонита ПП1А в различных состояниях

Interpolation Values... C:\Program Files\22_32\witsch\UMNT_1.FPS											
0.000- 0.2000µm=	0.00%	0.200- 0.300µm=	0.5000µm=	1.37%	0.500- 1.000µm=	3.93%	1.000- 2.000µm=	13.06%	2.000- 3.000µm=	11.80%	
2.000- 3.000µm=	7.32%	3.000- 4.000µm=	4.42%	4.000- 5.000µm=	20.37%	5.000- 10.000µm=	16.23%	10.000- 20.000µm=	8.32%	20.000- 30.000µm=	4.87%
30.000- 40.000µm=	2.48%	40.000- 50.000µm=	0.06%	50.000- 60.000µm=	1.25%	60.000- 70.000µm=	0.81%	70.000- 80.000µm=	0.06%	80.000- 90.000µm=	0.00%
90.000- 100.000µm=	0.00%	100.000- 120.000µm=	0.00%	120.000- 150.000µm=	0.00%	150.000- 200.000µm=	0.00%	200.000µm=	0.00%		

Interpolation Values... C:\Program Files\22_32\witsch\10_30.FPV									
5.0 % <=	1.061 µm	10.0 % <=	1.451 µm	15.0 % <=	1.821 µm				
20.0 % <=	2.204 µm	25.0 % <=	2.615 µm	30.0 % <=	3.070 µm				
35.0 % <=	3.577 µm	40.0 % <=	4.168 µm	45.0 % <=	4.853 µm				
50.0 % <=	5.669 µm	55.0 % <=	6.669 µm	60.0 % <=	7.903 µm				
65.0 % <=	9.489 µm	70.0 % <=	11.547 µm	75.0 % <=	14.241 µm				
80.0 % <=	17.780 µm	85.0 % <=	23.357 µm	90.0 % <=	28.674 µm				
95.0 % <=	38.361 µm	99.0 % <=	56.514 µm	100.0 % <=	71.373 µm				

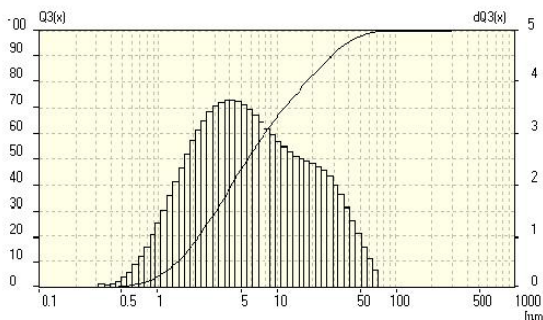


Рисунок 3 – Интегральное и дифференциальное распределение частиц по размерам в образце бентонита ПП1А



Рисунок 4 – Свойства УМНТ

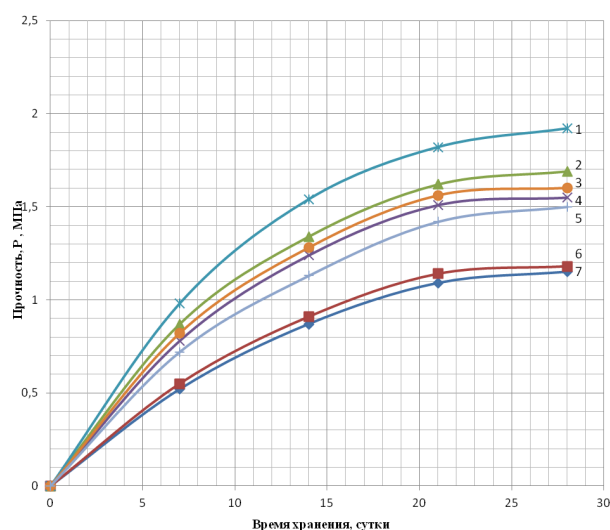


Рисунок 5 – Прочность композитных растворов на основе бентонита марки ПТГА от продолжительности хранения при различном содержании УМНТ к массе цемента, % 1-0,012; 2-0,016; 3-0,019; 4-0,009; 5-0,036; 6-0,005; 7-0,000

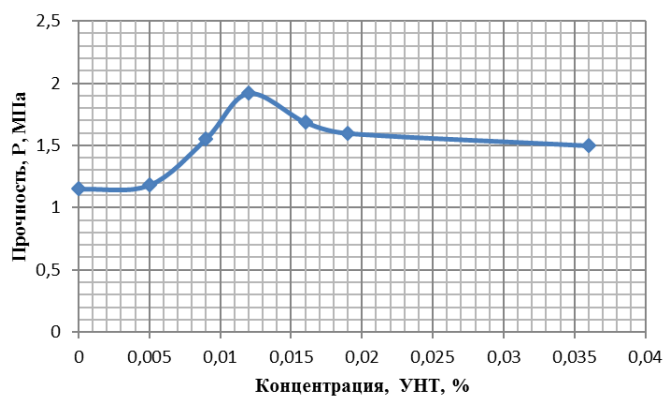


Рисунок 6 – Кинетика структурообразования от содержания УНТ

Прогнозируемые теоретически результаты доказаны. Графически установлено, что введение добавок УМНТ в вяжущее с концентрацией 0,012% к массе цемента к концу периода твердения максимально повышает прочность КР (по сравнению с контрольным образцом).

По отношению к образцу без добавок (контрольному) наблюдается возрастание скорости формирования структуры почти в 1,5 раза. При контакте углеродных нанотрубок с элементами клинкерного минерала происходит взаимодействие микрочастиц [9-15]. Наличие дополнительных сил притяжения приводит к повышению плотности, то есть микроструктура композитов с добавкой УМНТ уплотняется. В пустотах, появляются новообразования. Такие новообразования

по всему объему, для них характерна более высокая степень кристалличности. Увеличение степени упорядоченности структуры и повышает плотность упаковки [16-24].

Заключение. По результатам эксперимента установлено:

- композитный материал с добавкой 0,012% УМНТ имеет прирост прочности тампонажных композиций относительно контрольного образца. Оптимальная концентрация добавки (к массе цемента) для УМНТ соответствует 0,012%, обеспечивающая наибольшую скорость структурообразования раствора;

- определено, что возможно целенаправленно воздействовать на процессы структурообразования цементных композитов за счет введения нанодобавок на

основе УМНТ;

– рассмотрена возможность применения данного КР с целью обеспечения безопасной эксплуатации для строящихся сооружений.

Одной из ключевых проблем нанокompозитов остается изучение зависимости состав – структура – свойство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 Яковлев, Г.И. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками / Г.И. Яковлев, Г.Н. Перушин, А.Ф. Бурьянов, В.И. Кодолов // Строительные материалы. – 2009. - № 3. – С. 99-102.
2. Ваучский, М.Н. Наномодификация бетона – абсолютная реальность / М.Н. Ваучский // Строительство: новые технологии, новое оборудование. - 2009. - №2. - С. 47-52.
3. Низина, Т.А. Оценка эффективности влияния наномодификаторов на прочностные и реологические характеристики цементных композитов в зависимости от вида пластифицирующих добавок / Т.А. Низина, С.Н. Кочетков, А.Н. Пономарев, А.А. Козеев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. - № 1. – С. 43-49.
4. Пономарев, А.Н. Технико-экономические аспекты и результаты практической модификации конструкционных материалов микродобавками нанодисперсных фуллероидных модификаторов / А.Н. Пономарев // Вопросы материаловедения. – 2003. - № 3. – С. 49-57.
5. Efremova, S.Y., Zubrev, N.I., Panfilova, M.I., & Matveyeva, T. V. (2019). Composite systems using ash from burning production waste. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , 337(1) doi:10.1088/1755-1315/337/1/012034 Retrieved from www.scopus.com
6. Zubrev, N.I., Ustinova, M.V., Zhuravleva, M.A., Panfilova, M.I., & Efremova, S.Y. (2020). Obtaining composite solutions with the addition of ash from the burning of fuel oil. [Получение композитных растворов с добавлением золы от сжигания мазута] Ecology and Industry of Russia, 24(3), 10-13. doi:10.18412/1816-0395-2020-3-10-13
7. Panfilova, M.I., Zubrev, N.I., Efremova, S.Y., Yakhkind, M.I., & Gorbachevskii, V.P. (2020). Strengthening of water-saturated soils of the bases of underground structures with composite solutions modified by industrial waste, boehmite. Case Studies in Construction Materials, 12 doi:10.1016/j.cscm.2019.e00323
8. Panfilova, M.I., Zubrev, N.I., Gorbachevskii, V.P., & Efremova, S.Y. (2020). The renewal of the bearing capacity of rubble masonry by the composite solution. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series, , 1425(1) doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012068 Retrieved from www.scopus.com
9. Пудов, И.А. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Пудов Игорь Александрович. – Казань, 2013. – 185 с.
10. Хузин, А.Ф. Цементные композиты с добавками многослойных углеродных нанотрубок: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Хузин Айрат Фаритович. – Казань, 2014. – 182 с.
11. Kazuyoshi, T. The science and technology of carbon nanotubes / T. Kazuyoshi, Y. Tokio, F. Kenichi // Elsevier. – 1999. – 206 p.
12. Пономарев, А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии / А.Н. Пономарев // Инженерно-строительный журнал. – 2009. - № 6. С. 25-33.
13. Пат. 2196731 Российская Федерация, МПК6 С 04 В 28/02. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа / А.Н. Пономарев, В.А. Никитин. - № 2000124887А; заявл. 21.09.2000; опубл. 20.01.2003, - 9 с.
14. Юдович, М.Е. Наномодификация пластификаторов, регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов / М.Е. Юдович, А.Н. Пономарев // Стройпрофиль. – 2007. - № 6. – С. 49-51.
15. Булярский, С.В. Углеродные нанотрубки: технология, управление свойствами, применение / С.В. Булярский. – Ульяновск: ООО «Стрежень», 2011. – 478 с.
16. Konsta-Gdoutos, M.S. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials / M.S. Konsta-Gdoutos, et al. // Cement and Concrete Research. – 2010. - № 40. – p. 1052-1059.
17. Карпова, Е.А. Модификация цементного бетона комплексными добавками на основе эфиров поликарбоксилата, углеродных нанотрубок и микрокремнезема / Е.А. Карпова, А.Э. Мохамед, Г. Скрипкюнас, Я. Керене, и др. // Строительные материалы. – 2015. - № 2. – С. 40-47.
18. Строкова В.В., Ерохина И.А., Куртова И.А., Бухало А.Б. Неавтоклавный ячеистый бетон на основе модифицированного вяжущего [Электронный ресурс] Сб. докладов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь в начале нового столетия». Губкин. 2007.
19. Панченко, А. И. Особо тонкодисперсное минеральное вяжущее «Микродур»: свойства, технология и перспективы использования / А. И. Панченко, И. Я. Харченко // Строительные материалы. – 2005. – № 10. – С. 76 - 78.
20. Камбефор, А. Иньксия грунтов. Принципы и методы : перевод с французского / А. Камбефор. – М., Энергия, 1971. 332 с.
21. Староверов В.Д. Структура и свойства наномодифицированного модифицированного камня. Автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2009. С.19.
22. Яковлев Г.И., Перушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Ф.-Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2009. №3. С.99-102.
23. Круглицкий Н.Н. Способы модифицированной микронаполнителей / Н.Н. Круглицкий, Е.И. Прийма, Л.А. Кулик // Строительные материалы и конструкции. – 1981. – №4. – С.27-28.)
24. Пономарев А.Н. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа [Текст] /А.Н. Пономарев. Патент РФ на изобретение №2196731, заявл. 21.09.2000, опубл. 20.01.2003; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «АСТРИН» (RU).

Статья поступила в редакцию 01.02.2022

Статья принята к публикации 10.03.2022